

ISSN : 1305-7820  
E-ISSN : 2587-165X

# FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



İSTANBUL TİCARET  
ÜNİVERSİTESİ

Yıl:22  
Year:22

Sayı:44  
Vol:44

2023-Güz  
2023-Fall

Istanbul Commerce University  
Journal of Science

**ISSN : 1305-7820**  
**E-ISSN: 2587-165X**



**İSTANBUL TİCARET**  
**ÜNİVERSİTESİ**

# **FEN BİLİMLERİ**

## **DERGİSİ**

**Yıl: 22**      **Sayı: 44**      **Güz 2023**  
Year: 22      Volume: 44      Fall 2023

Istanbul Commerce University  
Journal of Science













# İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

*Istanbul Commerce University Journal of Science*

<http://dergipark.org.tr/ticaretfbd>



<b>İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi</b> <i>Owner on behalf of Istanbul Commerce University</i>	Prof. Dr. Abdülhamit AVŞAR <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi Rektörü</i>
<b>Editör</b> <i>Editor</i>	Doç. Dr. Berk AYVAZ <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
<b>Yardımcı Editör</b> <i>Assistant Editor</i>	Arş. Gör. Dr. Kader ŞİMŞİR ACAR <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
<b>Dil Editörü</b> <i>Language Editor</i>	Dr. Öğr. Üyesi Elif NURAY YILDIRIM <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
<b>Alan Editörleri</b> <i>Associate Editors</i>	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK <i>Matematik, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Doğan KAYA <i>Matematik, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Fatih ÜSTÜNER <i>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Muhammet DEVECİ <i>Endüstri Mühendisliği, Imperial Collage London, İngiltere</i> Doç. Dr. Muhammet CEYLAN <i>Malzeme Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR <i>Makine Mühendisliği, Marmara Üniversitesi, Türkiye</i> Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKÇI <i>Endüstri Mühendisliği, İbn Haldun Üniversitesi, Türkiye</i> Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU <i>Gıda Mühendisliği, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye</i> Dr. Öğr. Üyesi Alihan KAYA <i>Makine Mühendisliği, Ghent Üniversitesi, Belçika</i> Dr. Öğr. Üyesi Amir ZAINALI <i>Makine Mühendisliği, Virginia Tech, ABD</i> Doç. Dr. Tarık NAMAS <i>Bilgisayar Mühendisliği, International University of Sarajevo, Bosna Hersek</i> Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAVAS <i>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i>
<b>Sorumlu Yazı İşleri Müdürü</b> <i>Publishing Manager</i>	Engin ÇETİN <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
<b>Yönetim Yeri / Head Office</b>	İstanbul Ticaret Üniversitesi / İstanbul Commerce University
<b>Yazışma Adresi</b> <i>Corresponding Address</i>	Küçükyalı E-5 Kavşağı, İnönü Cad. No: 4 Küçükyalı-34840 İstanbul-TÜRKİYE Tel: 0 216 444 0 413 (3141) <b>e-posta:</b> <a href="mailto:fendergi@ticaret.edu.tr">fendergi@ticaret.edu.tr</a>
<b>İnternet Adresi</b> <i>Web Address</i>	<a href="https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbd">https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbd</a>
<b>Yayın Türü</b> <i>Publication Type</i>	Yerel Süreli / <i>Periodical</i> Yılda iki sayı yayımlanır: Bahar (Haziran) ve Güz (Aralık) <i>Two issues per year: Spring (June) and Fall (December)</i>
<b>Yayın Dili / Publication Language</b>	Türkçe ve İngilizce / <i>Turkish and English</i>
<b>Online Yayınlanmaktadır</b> <i>Published Online</i>	ISSN : 1305-7820 E-ISSN : 2587-165X
<b>Derginin Tarandığı Kaynaklar</b>	         

<b>Yayın Kurulu</b> <i>Editorial Board</i>	Prof. Dr. Adnan ÇALIK	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
	Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Qamrul Hasan ANSARI	Aligarh Muslim University, Aligarh, India
	Prof. Dr. Vatan KARAKAYA	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI	İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
<b>Danışma Kurulu</b> <i>Advisory Board</i>	Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM	İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Adnan ÇALIK	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
	Prof. Dr. Ahmet Şükrü ÖZDEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Akram BEGMATOV	Semerkant Devlet Üniversitesi, Semerkant, Özbekistan
	Prof. Dr. Ali FARAJZADEH	Razi Üniversitesi, Kermanshah, İran
	Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Aslan GÜLCÜ	Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
	Prof. Dr. Bayram Ali ERSOY	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Bilal BİLALOV	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Doğan KAYA	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Emrah Evren KARA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
	Prof. Dr. Farman MAMEDOV	Azerbaycan Milli İlimler Akademisi, Bakü, Azerbaycan
	Prof. Dr. Fatih NURAY	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye
	Prof. Dr. Hasan GENÇ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye
	Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. İdris KABALCI	Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye
	Prof. Dr. İsmail KÜÇÜK	İstanbul Zaim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Metin BAŞARIR	Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
	Prof. Dr. Metin GÜMÜŞ	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Mikail ET	Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye
	Prof. Dr. Muammer KALYON	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Murat KİRİŞÇİ	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Murat KOCA	Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
	Prof. Dr. Murat SARI	İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Mustafa KURT	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. M. Emin ÖZDEMİR	Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye
	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Nedim TUTKUN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Oğuz BORAT	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Orhan İÇELLİ	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Rifat YAZICI	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. S. Ahmet OYMAK	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Serhan YARKAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Vatan KARAKAYA	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Yasin ÜST	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Yusuf ZEREN	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Abdullah DEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKÇI	İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Asif YOKUŞ	Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
	Doç. Dr. Faik GÜRSOY	Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK	İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Fuat USTA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU	Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye	
Doç. Dr. İbrahim DEMİR	Türkiye İstatistik Kurumu, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Kadri DOĞAN	Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye	
Doç. Dr. Leyla SURİ	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Merve İLKHAN KARA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Yunus ATALAN	Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye	

44. Sayı HAKEM LİSTESİ / REVIEWER LIST

Prof. Dr. Ahmet Mete ÇİLİNGİRTÜRK  
Prof. Dr. Baki ÇİÇEK  
Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL  
Prof. Dr. Münevver TURANLI  
Prof. Dr. Öznur DEMİR ORDU  
Prof. Dr. Said BROUMI  
Prof. Dr. Soner ESMER  
Prof. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN  
Doç. Dr. Azim GÖKÇE  
Doç. Dr. Berk AYVAZ  
Doç. Dr. Esin AVCI  
Doç. Dr. Fatma Nur ARSLAN  
Doç. Dr. Fuat USTA  
Doç. Dr. Mesut ISIK  
Doç. Dr. Metin ÜNAL  
Doç. Dr. Muhammet GÜL  
Doç. Dr. Mustafa Kemal BİLİCİ  
Doç. Dr. Ömür UMUT  
Doç. Dr. Serkan ETİ  
Doç. Dr. Tunçar ŞAHAN  
Dr. Öğr. Üyesi Aybala USTA YILDIRIM  
Dr. Öğr. Üyesi Emine Elif NEBATİ  
Dr. Öğr. Üyesi Fatih TEMİZ  
Dr. Öğr. Üyesi Hızlan Hıncal AĞUŞ  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza ADALI  
Dr. Öğr. Üyesi Sait Can YÜCEBAŞ  
Dr. Öğr. Üyesi Semih ÖZEL  
Dr. Öğr. Üyesi Tolga Acar YEŞİL  
Dr. Ahmet Özgür AĞIRGAN  
Dr. Ethem İLHAN ŞAHİN

Dr. Veysel TATAR

Marmara Üniversitesi  
Balıkesir Üniversitesi  
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi  
İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
Université Hassan II de Casablanca  
Kocaeli Üniversitesi  
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi  
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
İstanbul Ticaret Üniversitesi  
Giresun Üniversitesi  
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Düzce Üniversitesi  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi  
Uşak Üniversitesi  
İstanbul Üniversitesi  
Marmara Üniversitesi  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
İstanbul Medipol Üniversitesi  
Aksaray Üniversitesi  
Marmara Üniversitesi  
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi  
Üsküdar Üniversitesi  
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi  
Sakarya Üniversitesi  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi  
Marmara Üniversitesi  
Sinop Üniversitesi  
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi  
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji  
Üniversitesi  
Artvin Çoruh Üniversitesi

## EDİTÖRDEN

Değerli İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okurları,

Dergimizin 22. yılına girmişken, 2023 Güz döneminde yayımlanan 44. sayıyı değerli okurlara ulaştırmaktan onur duymaktayız.

Dergimizin bu sayısında Malzeme Mühendisliği, İstatistik, Deniz Mühendisliği, Matematik, Endüstri Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Makine Mühendisliği ve Biyomühendislik alanlarından on beş makaleyi siz okurlarımızın istifadesine sunmaktan mutluyuz.

Bu sayıda, üniversitemiz içinden ve dışından çalışmalarını bizim aracılığımızla okuyucularıyla paylaşan yazarlarımıza, makalelerin hakemlik süreçlerine itinalı çalışmaları ile katkıda bulunan değerli akademisyenlere ve derginin hazırlanmasında emeği geçen çalışma arkadaşlarımıza teşekkürlerimizi sunarız.

Sayının fen bilimleri alanında değindiği konulara özgün ve güncel bakış açıları kazandırmasını temenni eder, bir sonraki sayıda okuyucularımızla buluşmayı dileriz.

Doç. Dr. Berk AYVAZ  
Fen Bilimleri Dergisi Editörü

## EDITORIAL POST

Dear Readers of İstanbul Commerce University Journal of Science,

In the 22nd year of our journal, we are honored to share with you our esteemed readers the 44th issue of the Fall 2023 edition.

In this issue, we are pleased to publish fifteen articles from the fields of Materials Engineering, Statistics, Maritime Engineering, Mathematics, Industrial Engineering, Computer Engineering, Chemistry Engineering, Mechanical Engineering and Bioengineering to the readers.

We are eternally grateful to our writers who share their original scientific paper with the readers and our colleagues who have contributed to the preparation of the journal and the valuable academicians.

We hope that the issue will provide unique and actual scientific view into the subjects of natural science. Looking forward to meet with the next issue.

Assoc. Prof. Dr. Berk AYVAZ  
Editor

## YAYIN POLİTİKASI

Dergimizde yazarların çalışmalarını makale olarak yayımlamaları, okuyucuların makale okumaları ve indirmeleri ücretsizdir. Aynı şekilde hakem değerlendirmesi ve yayımlanma sürecinde de ücret talep edilmemektedir. Dergimizin tüm sayılarına <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfb> adresinden ulaşılabilir.

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen çalışmalar, benzerlik kontrol yazılımı olan İntihal.Net ile kontrol edilir. Çift-körleme hakem değerlendirme sürecine sadece benzerlik oranı  $\leq$  % 20 çalışmalar alınır. Bu durumda değilse yazar/ lar'dan çalışmanın tekrar revize edilerek yüklenmesi istenir. Benzerlik oranı % 20'den yüksekse, başvuru reddedilir.

Dergimize gönderilen makaleler için değerlendirme aşamaları aşağıdaki gibidir;

1. Makale Ön İncelemeye alınır;

- Makalenin yazım formatı incelenir ve İntihal.Net programı ile benzerlik taraması yapılır.
- Makalenin örnek makale şablonuna uygunluğu kontrol edilir.
- Şablona uymayan makaleler yazara bildirilir ve makalenin düzeltilmesi istenir.
- Makale sunum ve telif hakkı devir formu bilgilerinin kontrolü yapılır.

2. Makale Değerlendirme aşamasına geçer.

- Dergimiz makale değerlendirme sürecinde hakem ve yazarlar birbirlerinin bilgilerini göremediği çift-körleme hakemlik sistemini kullanmaktadır.
- Makaleye en az iki hakem ataması yapılır. Hakemlere değerlendirme için 21 gün süre tanınır. Değerlendirme süreci tamamlanmazsa ek 7 gün süre verilir.
- Makalenin sonucu ret, düzeltme ya da kabul olabilir. Sonuca göre aşağıdaki madde/maddeler uygulanır:
  - Hakem görüşlerinin çoğunluğu doğrultusunda makale ret edilmişse süreç sonlandırılır ve makale reddedilir. Eşitlik durumu söz konusu ise üçüncü hakem ataması yapılır.
  - Makale için düzeltme istenirse hakem görüşleri doğrultusunda yazarın düzeltmeleri yapılması istenir.
  - Makale kabul alırsa düzenleme aşamasına geçilir.

3. Mizanpaj aşamasında, düzeltmeler gerekirse yazardan istenir.

4. Süreç tamamlanır ve yazara bilgilendirme mesajı gönderilir.

Makale kabul süreci ortalama 3 ay sürmektedir.

İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Budapeşte Açık Erişim Girişimi'ne bağlı kalır ve Açık Erişim politikasını orijinal BOAI'da geliştirilen tanıma göre tanımlar:

Açık Erişim, “Hakem denetimli bilimsel literatürün, internet aracılığıyla; finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın, erişilebilir, okunabilir, kaydedilebilir, kopyalanabilir, yazdırılabilir, taranabilir, tam metne bağlantı verilebilir, dizinlenebilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olması”dır. [Bknz, <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/translations/turkish-translation>]

## PUBLICATION POLICY

In our journal, it is free for authors to publish their works as articles, and for readers to read and download articles. Likewise, no fee is charged during the referee evaluation and publication process. All issues of our journal can be accessed at <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbid>.

Manuscript sent to our journal for publication are checked with İntihal.Net, a similarity checking software. Only manuscript with a similarity rate  $\leq 20\%$  are included in the double-blind peer-review process. If this is not the case, the author/s are requested to revise and upload the manuscript again. If the similarity rate is higher than 20%, the application is rejected.

The evaluation stages for the articles sent to our journal are as follows;

1. The article is taken to Preliminary Review;
  - The format of manuscript is checked and İntihal.Net programme is used for the plagiarism.
  - Compliance of the article with the sample article template is checked.
  - Articles that do not fit the template are reported to the author and the article is requested to be corrected.
  - Article presentation and copyright transfer form information is checked.
2. The article goes to the evaluation stage.
  - The journal has double-blind peer-review system in which the referees and authors cannot see each other's information in the article review process.
  - At least two referees are assigned to the article. Referees are given 21 days for review. If the evaluation process is not completed, an additional 7 days is given.
  - Conclusion to the article can be rejection, correction or acceptance. According to the result, the following article/s are applied:
    - If the article is rejected in line with the majority of the referee's opinions, the process is terminated and the article is rejected. In case of equality, the 3rd referee is appointed.
    - If corrections are requested for the article, the author is requested to make them in line with the referee's comments.
    - If the article is accepted, it goes to the editing stage.
3. At the layout stage, if some corrections needed, it is requested from the author.
4. The process is completed and a notification message is sent to the author.

The article review process is almost 3 months.

İstanbul Commerce University Journal of Sciences adheres to the Budapest Open Access Initiative and defines Open Access policy according to the definition developed in the original BOAI:

By "open access" to peer-reviewed scientific literature, we mean its free availability on the public internet, permitting any users to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of these articles, crawl them for indexing, pass them as data to software, or use them for any other lawful purpose, without financial, legal, or technical barriers other than those inseparable from gaining access to the internet itself. [See, <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read>]





## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

### *Araştırma Makaleleri / Research Articles*

#### Malzeme Mühendisliği / Materials Engineering

- h-BOR NİTRÜR TAKVİYESİ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TİTANYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ** 248  
*INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF TITANIUM METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH h-BORON NITRIDE*  
İsmail TOPÇU

- TEKSTİL BOYAMASINDA KULLANILAN SUYUN ATIK MADDE İLE ARITILARAK TEKRAR BOYAMADA KULLANILMASI** 258  
*PURIFICATION OF WATER USED IN TEXTILE DYEING WITH WASTE MATERIAL AND USING IT IN RE-DYING*  
Aylin YILDIZ

- KARBON FİBER KATKILI POLİAMİT 66 POLİMER KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ** 267  
*EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER FILLED POLYAMIDE 66 POLYMER COMPOSITES*  
Bilal ÖZSARIKAYA, Salih Hakan YETGİN, Sinan KÖSE

#### İstatistik / Statistics

- A COMPARISON OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS FOR THE CRUDE BIRTH RATE DATA** 281  
*DOĞUM ORANININ MODELLENMESİ İÇİN İSTATİSTİKSEL DAĞILIMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI*  
Ceren ÜNAL, Gamze ÖZEL

- A NEW RISK ASSESSMENT METHOD FOR AUTONOMOUS VEHICLE DRIVING SYSTEMS: FERMATEAN FUZZY AHP APPROACH** 292  
*OTONOM ARAÇ SÜRÜŞ SİSTEMLERİ İÇİN YENİ BİR RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ: FERMATEAN FUZZY AHP YÖNTEMİ*  
Necip ŞİMŞEK, Murat KİRİŞÇİ

#### Deniz Mühendisliği / Maritime Engineering

- KONTEYNER TERMİNALLERİNDEKİ İŞ KAZALARININ BULANIK DEMATEL VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ: KOCAELİ LİMAN BÖLGESİNDE BİR UYGULAMA MAKALE BAŞLIĞI** 310  
*INVESTIGATION OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN CONTAINER TERMINALS BY FUZZY DEMATEL AND TOPSIS METHODS: AN APPLICATION IN KOCAELI PORT AREA*  
Kübra GÜÇLÜ, Murat YORULMAZ

Matematik / Mathematics

- ON THE SOLITARY WAVE SOLUTIONS OF DIFFERENT VERSIONS OF FRACTIONAL 3D- WAZWAZ -BENJAMIN-BONA-MAHONY EQUATIONS** 340  
*KESİRLİ 3D- WAZWAZ -BENJAMIN-BONA-MAHONY DENKLEMLERİNİN FARKLI VERSİYONLARININ SOLİTARY DALGA ÇÖZÜMLERİ ÜZERİNE*  
Ulviye DEMİRBİLEK

- CHARACTERIZATION OF ONE DIMENSIONAL PERIODIC BOUNDARY CELLULAR AUTOMATA** 352  
*BİR BOYUTLU PERİYODİK SINIR ŞARTLI HÜCRESEL DÖNÜŞÜMLERİN KARAKTERİZASYONU*  
Ferhat ŞAH

Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering

- MÜŞTERİ PROFİLİ VE ALIŞVERİŞ HAREKETLERİNİ BELİRLEMEDE RFM ANALİZİ VE BİRLİKTELİK KURALLARI ANALİZİ: PERAKENDE SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA** 359  
*RFM ANALYSIS AND ASSOCIATION RULES ANALYSIS IN DETERMINING CUSTOMER PROFILE AND SHOPPING MOVEMENTS: AN APPLICATION IN RETAIL INDUSTRY*  
Gülfem OĞUR, Oğuz BORAT

- ASSESSING PORT SERVICE QUALITY DIMENSIONS WITH FERMATEAN FUZZY AHP METHOD** 377  
*LİMAN HİZMET KALİTESİ BOYUTLARININ FERMATEAN BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ*  
Veysel TATAR

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

- KARİYER PLANLAMADA YENİ KURAMLARIN ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNE YÖNELİK BİR KAVRAMSAL MODELLEMESİ** 395  
*A CONCEPTUAL MODELLING OF NEW THEORIES IN CAREER PLANNING FOR UNDERGRADUATE STUDENTS*  
Zeynep ALTAN

Kimya Mühendisliği / Chemistry Engineering

- SYNTHESIS OF 2-FLUOROBENZOYL THIOUREA DERIVATIVES** 417  
*2-FLOROBENZOİL TIYOÜRE TÜREVLERİNİN SENTEZİ*  
Şule EROL GÜNAL

- KANTİTATİF TAYİNDE YEŞİL YÖNTEM: ATR-FTIR; FARMASÖTİK PREPARATTA PARASETAMOL TAYİNİ** 425  
*GREEN METHOD FOR QUANTITATIVE DETERMINATION: ATR-FTIR; DETERMINATION OF PARACETAMOL IN PHARMACEUTICAL PREPARATION*  
Nükte TOPRAKSEVER, Gamze ÖZGÜL ARTUÇ

Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

- YAPAY SİNİR AĞI VE ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMLERİ İLE NH<sub>3</sub> YOĞUŞMA ISI TRANSFERİ KATSAYISI TAHMİNİ** 434  
*PREDICTION OF NH<sub>3</sub> CONDENSATION HEAT TRANSFER COEFFICIENT WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND MULTIPLE REGRESSION METHODS*  
Hakan AYDOĞAN, Mehmed Rafet ÖZDEMİR

*Derleme Makaleler / Review Articles*

Biyomühendislik / Bioengineering

**ALPHAFOLD: DERİN ÖĞRENME VE SİNİR AĞLARI YOLUYLA PROTEİN KATLAMASINDA DEVRİM YARATMAK** 445

*ALPHAFOLD: REVOLUTIONIZING PROTEIN FOLDING THROUGH DEEP LEARNING AND NEURAL NETWORKS*

Burcu TEKİN, Rafiq GURBANOV

*Düzeltilme / Erratum*

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

**RFID SİSTEMLERİ İLE DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİNDE KONUM BELİRLEMEDE KULLANILACAK YÖNTEM VE TEKNOLOJİLERE GENEL BAKIŞ\*** 27

*OVERVIEW OF METHODS AND TECHNOLOGIES TO BE USED IN POSITIONING WITH RFID SYSTEMS IN WAREHOUSE MANAGEMENT SYSTEMS*

Hüseyin Cahit TOSUN, Abdül Halim ZAİM

\*17(33) sayısının 2. makalesinin düzeltme makalesidir.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# h-BOR NİTRÜR TAKVİYESİ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TİTANYUM METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

## INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF TITANIUM METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH h-BORON NITRIDE

İsmail TOPCU<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1254936>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
ismail.topcu@alanya.edu.tr

Geliş Tarihi / Received  
22.02.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
09.07.2023

### Öz

Titanyum ve titanyum alaşımları, yüksek özgül dayanımları ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanıldıkları için yoğun ilgi çekmiştir. Seramik parçacıklarla güçlendirilmiş titanyum metal matrisli kompozitler (TMMC'ler), öncelikle yüksek özgül E-modülleri, toklukları, yüksek sıcaklıkları, yüksek özgül dayanımları, iyi korozyon dirençleri ve iyi aşınma dirençleri nedeniyle havacılık, ulaşım ve endüstriyel sektörlerdeki yapısal uygulamalar için önemli bir potansiyele sahiptir. TMMC'lerde SiC, Bu çalışmada Titanyuma hegzagonal h-BN takviyesi ve toz metalurji prosesi üretim yöntemi ile dinamik yükler altındaki yoğunlukları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen kompozitlerde takviye h-BN oranları ilk deneyde hacimce %10, %15 ve %20 olarak seçilmiştir. Bilyeli değirmende dört saat karıştırıldıktan sonra tozlar tek eksenli cihazda preslenmiş, daha sonra farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. 1300 °C'de yüksek saflıkta argon atmosferinde 1 saat süre ile bekletilmiştir. Sinterleme işlemi öncesi yüksek saflıkta argon atmosferinde 600°C'de bağlayıcı uzaklaştırılmıştır. h-BN içeriğinin ve sinterleme sıcaklığının mekanik özellikler ve yoğunluklar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre; h-BN takviye oranının artışı ile kompozitlerin sertliğinin azaldığını ancak sinterleme sıcaklığının artırılması ile sertlik değerlerinin iyileştirilebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** h-BN, mekanik özellikler, Ti6Al4V, toz metalurjisi.

### Abstract

Titanium and titanium alloys have attracted interest because they offer high specific strengths and are widely used across various industrial applications. Titanium metal matrix composites (TMMCs) reinforced with ceramic particles have considerable potential for structural applications in the aerospace, transportation and industrial sectors primarily because of their high specific modulus, toughness, elevated temperature, high specific strength, good corrosion resistance and good wear resistance. In this work, hexagonal boron nitride (h-BN)-embedded TMMCs (Ti6Al4V/h-BN) composites were prepared using a conventional powder metallurgy process and their densities and mechanical properties under dynamic loadings were investigated. In manufactured composites proportions of reinforced BN were chosen for first experiment to be 10%, 15%, and 20% by volume. After mixing an planetary ball mill for four hours, the powders were pressed by uniaxial, then they were sintered at temperatures of 1300 oC under the high purity argon atmosphere for an hour. Before the sintering process, binder was removed at 600°C under the high purity argon atmosphere. Effects of h-BN content and sintering temperature on the mechanical properties and densities were primary interest. The results suggested that an increase in h-BN content reduced the hardness of the composites, but that the hardness could be improved by increasing the sintering temperature.

**Keywords:** h-BN, mechanical properties, powder metallurgy, Ti6Al4V.

<sup>1</sup>Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye. ismail.topcu@alanya.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-2998-6569.

## 1. GİRİŞ

Toz Metalurjisi, elementel veya ön alaşımlı tozları bir arada harmanlayarak, bu karışımı bir kalıpta sıkıştırarak ve preslenmiş parçayı kontrollü bir atmosfer fırınında sinterleyerek veya ısıtarak metalürjik parçacıkları birbirine bağlayarak, güvenilir ağ şekilli bileşenler üretmenin oldukça gelişmiş bir yöntemidir. P/M süreci, nihai boyutlarda basit veya karmaşık parçalar üretmede oldukça uygun maliyetli olan avantajlı bir imalat yöntemidir (Koczak & Premkumar, 1989).

Geleneksel metalik malzemeler bu tür gereksinimleri nadiren karşılar. Bununla birlikte, metal matrisli kompozitler alanındaki son gelişmeler bu zorluğun üstesinden gelmiştir. Son yıllarda geliştirilen birçok metal matrisli kompozit, çeşitli özellik gereksinimleri kombinasyonlarını karşılayacak özelliklere sahiptir. Titanyum bazlı kompozitler, bu tür metal matrisli kompozitlerin önemli bir grubunu oluşturur (Chandrasekar ve ark. 2007, Alman ve ark.1999). Seramik parçacıklarla güçlendirilmiş titanyum metal matrisli kompozitler (TMMC'ler), öncelikle yüksek özgül modülleri, toklukları, yüksek sıcaklıkları, yüksek özgül dayanımları, iyi korozyon dirençleri ve iyi aşınma dirençleri nedeniyle havacılık, ulaşım ve endüstriyel sektörlerdeki yapısal uygulamalar için önemli bir potansiyele sahiptir (Mosleh ve ark 2009).

Bn, iyi fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı günümüzde birçok uygulamada kullanılan sentetik bir refrakter malzemedir (Lian, ve ark Topcu ve ark 2019, Topcu ve ark 2020). BN, altıgen BN (hBN), kübik BN (cBN), turbostratik BN (tBN), vurtzitik BN (wBN), eşkenar dörtgen BN (rBN) ve patlayıcı BN (eBN) gibi çeşitli kristal yapılarda başarıyla sentezlenip elde edilmiştir. Bor nitrür (BN), son derece yüksek erime sıcaklığı, termal şok direnci, kimyasal inert ligi, toksik olmaması ve çevre güvenliği nedeniyle yapısal uygulamalar için umut verici bir malzeme olarak kabul edilmiştir (German, 2005, Topcu ve ark.2021, Şahin ve ark 2020). Özellikle BN'nin erimiş metal tarafından zayıf ıslana bilirligi çok yi bir özelliğidir. Bu nedenle BN bazlı kompozitler, çelik ve demir dışı metallerin üretim endüstrisinde kullanılabilir (Lavemia ve ark 1991). Hem bir refrakter hem de bir yağlayıcıdır (Huda ve ark 1995, Topcu ve ark, 2018). h-BN, mükemmel yağlama özellikleri sağlayan grafit benzer bir kristal yapıya sahiptir (Lian ve ark, 2010).

Toz metalürjisi (T/M) teknolojisi, işlemenin en aza indirilmesini ve böylece maliyetlerin düşürülmesini sağlayan net şekilli bileşenlerin üretilmesi için kullanışlı yöntemdir (Wang ve ark, 2012). Toz teknolojileri, yalnızca taklit edileme yetenekleri nedeniyle değil, aynı zamanda tasarım özellikleri nedeniyle de mühendisler için önemlidir (German, 2005).

Kompozit numune üretiminde dört temel parametre söz konusudur. Öğütme, karıştırma, sıkıştırma ve sinterleme (Wang ve ark, 2012). Yaygın olarak kullanılan; Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Pb, Fe, Ag, Zn, Sn ve süper alaşımları kullanılmaktadır. Al, Ti ve Mg alaşımları diğerlerine göre geniş uygulama alanlarına sahiptir (Topcu,2020).

Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan metallerin ve alaşımlarının bazı tipik özellikleri

Metaller	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Young Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Alüminyum	2.7	70	40	200
Bakır	8.9	120	60	400
Nikel	8.9	210	70	400
Ti-6Al-4V	4,33	110	900	1000
Paslanmaz Çelik	7,69	195	240	365
Karbon Çeliği	7.9	210	250	420

Kompozit malzeme yapısal uygulamalarda kullanılacaksa, takviye malzemesinin yüksek mukavemete, elastik modüle ve düşük yoğunluğa sahip olması gerekir. Köşeli parçacıklar stres konsantrasyonuna neden olduğundan ve sünekliği azalttığından, parçacığın parçacık şekli mekanik özellikler üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir (Lian ve ark, 2010).

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen kompozitler farklı takviye ve üretim yöntemler ile iyileştirilen özelliklerinden dolayı genel kompozitlerden ayrılmaktadır. Toz metalurjisinde ana matriks ve takviye malzeme olarak metal tozları kullanılarak üstün özelliklerle kompozitlerin üretilmesini ifade eder. Toz metalurjisi endüstriyel talepleri karşılayabildiğinden ve üretimde yüksek kolaylık sağladığından uygun bir üretim tekniğidir (Sahin, 2022). Toz metalurjisi, sıkıştırılabilir metal tozlarını güçlü ve yüksek performanslı parçalara dönüştürmek için kullanılan süreçlerin bir sonucudur. Bu yöntem, süresiz toz parçacıkları ile takviye edilmiş kompozitlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılırken sinterleme prosesinde kullanılan yöntem sıvı sinterleme tekniği alaşımların ıslana bilirliliğinin düşük olması nedeniyle benimsenen ileri bir tekniktir. diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, nispeten düşük enerji tüketimi ve düşük maliyet, ile bu yöntemin yaygınlaşmasını sağlayan bir avantajdır. Toz metalurjisi, yüksek erime noktasına sahip metallerin ve kompozitlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemde yoğunluk farklılıklarından kaynaklanan oksidasyon, ayrışma, gaz absorpsiyonu ve alaşımlama gibi problemler ortadan kaldırılabilmektedir (Topcu, 2020).

Mekanik alaşımlama (MA), elementel tozlardan başlayarak ticari olarak yararlı malzemelerin hem denge hem de denge dışı fazlarını sentezlemek için basit ve kullanışlı bir tekniktir. Aynı zamanda önemli teknik avantajları olan ekonomik bir süreçtir. Mekanik alaşımlamanın en büyük avantajlarından biri, normalde karışmayan elementlerin alaşımlaması gibi başka hiçbir teknikle mümkün olmayan yeni alaşımların sentezidir. Bunun nedeni, mekanik alaşımlamanın tamamen katı hal işleme tekniği olması ve bu nedenle faz diyagramlarının getirdiği sınırlamaların burada geçerli olmamasıdır. Mekanik alaşımlama (MA) normalde kuru, yüksek enerjili bir bilyeli öğütme tekniğidir ve ticari olarak faydalı ve bilimsel olarak ilginç çeşitli materyaller üretmek için kullanılmıştır. Şekil.2. MA sürecini kullanan bir üretim proses şemasıdır. Hammaddeler, kullanılan değirmen tipi, karıştırma işlemi ve ısıl işlemin detayları istenen ürün tipine göre değişir, ancak işleme süreci genelde benzerdir. Bazı küçük adımların eklenmesi veya bazılarında değiştirilmesi mümkündür. MA'nın asıl süreci, tozların doğru oranda karıştırılması ve tozun öğütme atmosferi (genellikle çelik bilyeler) ile değirmene yüklenmesi ile başlar (Suryanarayana, 2004).

Öğütme/Karıştırma teknikleri elde edilmesi gereken özelliklere sahip kompozitleri oluşturmak için gelişmiştir. Başarılı bir teknik, alaşımlı bir bileşik parçacık oluşturmak için karıştırılan bilyeler arasındaki aşınma hareketini kullanan mekanik alaşımlamadır (Lavemia & Srivatsan, 1991). Öğütme, sert bilyeler, çubuklar veya çekiçler kullanılarak yapılan mekanik darbeyi ifade eder ve kırılabilir malzemelerden toz üretmeye yönelik klasik bir yaklaşımdır. En basit cihaz, Şekil.2'de gösterildiği gibi, bilyeler ve öğütülecek malzeme ile dolu silindirik bir kavanozdan oluşan bir kavanoz değirmendir. Kavanoz döndükçe, toplar sürekli olarak toz halindeki malzeme ile çarpışır ve onu daha da küçük parçacıklara ayırır. Kırılabilir bir malzemeyi öğütme yoluyla kırmak için gereken darbe gerilimi, malzemenin kusurlu yapısı ve çatlak ilerlemesine karşı hassasiyet ile ilgilidir. Daha büyük, kırılma için daha az darbe gerilimi gerektirir. Öğütme sırasında parçacık boyutu küçüldükçe gerekli stres arttı (Dorr, 1986).

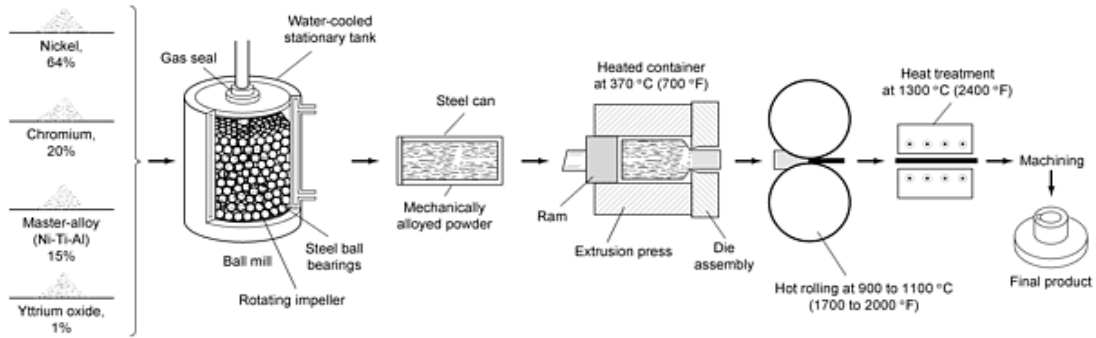
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzemeler ve uygulanan işlemler

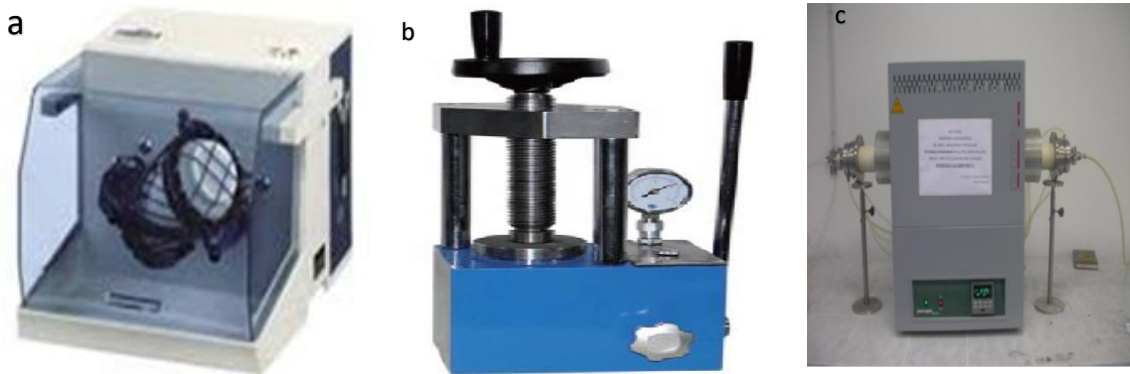
Bu çalışmada, ana matris olarak Ti6Al4V tozu (Coldstream SA, Ath, Belçika) kullanılmıştır. Ti6Al4V tozunun parçacık boyutları 45–150  $\mu\text{m}$  aralığındaydı. H.C. tarafından sağlanan h-BN katı yağlayıcı tozlar. 7–11  $\mu\text{m}$  aralığında parçacık boyutlarına sahip Starck Inc. (Almanya), Takviye malzemesi ana matrise hacimce %10-%20 arasında değişen oranlarda ilave edildi. Toz bileşenler belli bir zaman ve devirde planetary bilyeli değirmende karıştırıldı. Karışık tozlar daha sonra 12 mm çapında silindirik numuneler elde etmek için preslendi. Numunelerin ham yoğunluğu, teorik yoğunluğun yaklaşık %82'si kadardı. Yaş numuneler, 650 °C sıcaklıkta argon atmosferi altında bağlayıcıdan arındırıldı ve 1350°C'de argon atmosferi altında sinterlendi. Numuneler son olarak sinterleme fırınında soğutulmuştur. Ham ve sinterlenmiş yoğunluklar, Metal Tozu Endüstrileri Federasyonu (MPIF) Standardı 42'ye (2002) göre deneysel olarak belirlendi.

### 2.2. h-BN takviyeli titanyum matrisli numune üretimi

Kompozitlerin üretimi sırasında %10, %15 ve %20 hacimce h-BN ve %1 oranında Poli akrilonitril (PAN) bağlayıcı ile trubula aşındırmalı helezonik karıştırma cihazında Ti6Al4V tozuna takviye edilerek çalışmalar başlamıştır. Karıştırma süresi üç saattir. Bilyenin toza ağırlık oranı 3:1, öğütme hızı 200 rpm, bilye çapı: 10 mm alümina bilye. Toz malzemeler tek eksenli pres ile 30 MPa 'da kolayca preslenmiştir. Preslenen numuneler farklı zaman aralıklarında (1saat, 2saat, 3saat) ve 1350 °C de yüksek saflıkta argon atmosferinde sinterlendi. Çünkü diğer sinterleme atmosferlerinde numunelerin oksitlenmesi söz konusu olabilir.



Şekil 1. Toz metalürjisi ile mekanik alaşımlama akış prosesi (German,2005)



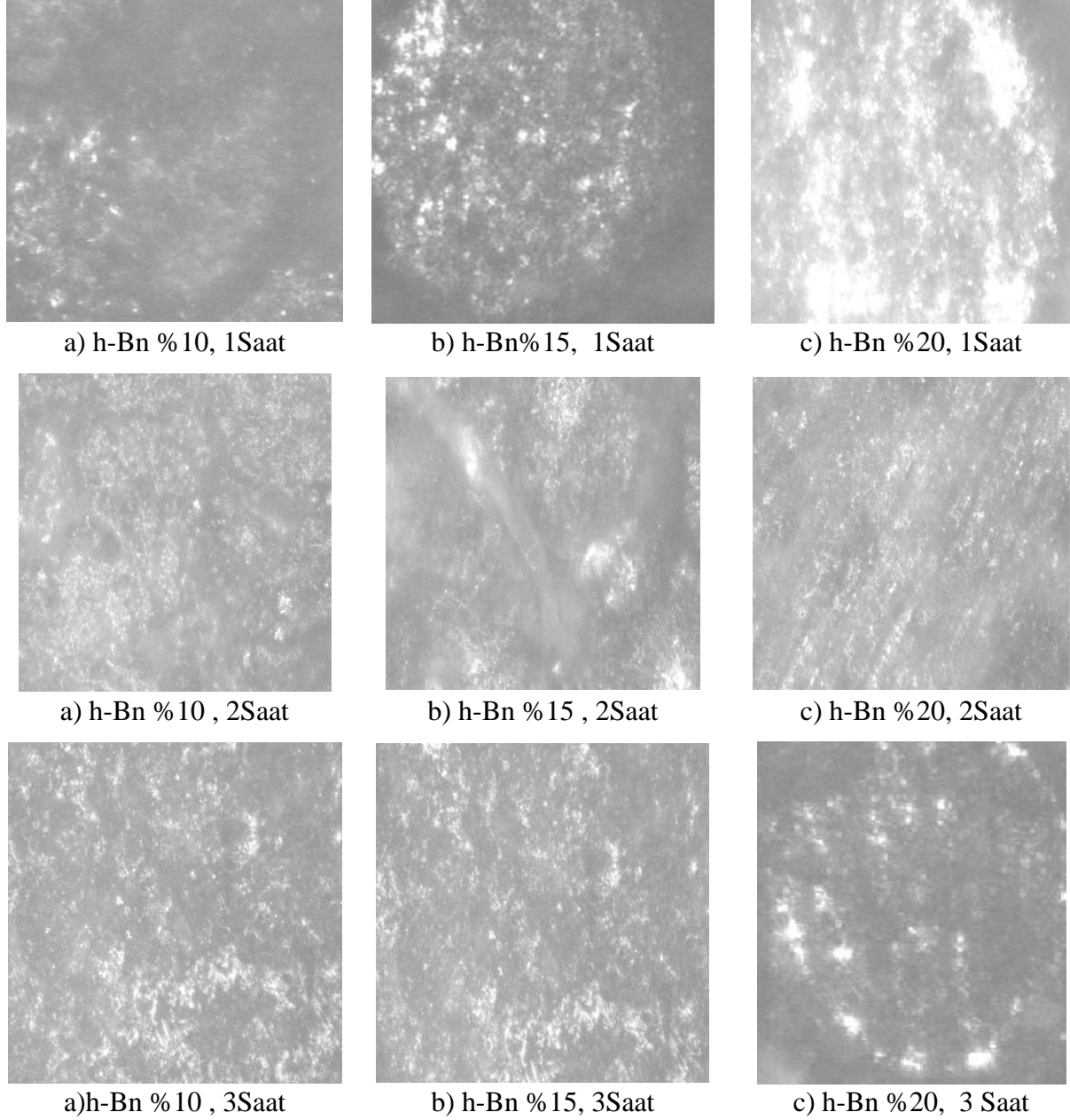
Şekil 2. a) Karıştırma cihazı

b) Pres cihazı

c) Sinterleme fırını

### 2.3. Mikroskopik inceleme

İncelenen kompozitlerin boyuna kesitlerinden elde edilen metalografik numuneler incelenmek üzere hazırlandı. Tüm numuneler 240, 500, 800 ve 1000 mesh SiC zımpara kağıtları ile özenli bir şekilde zımparalandı. Daha sonra numuneler Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pastası çuhada parlatıldı. Kompozitlerin mikro yapıları LEICA optik mikroskobu ile incelendi.



Şekil 3. Farklı oranlarda 20x (büyütme) ile h-BN ile takviye edilen Ti6Al4V kompozit numunelerinin farklı sinterleme zamanları ile elde edilen mikroyapı görüntüleri

### 2.4. Sertlik ve testleri

Numunelerin mekanik özellikleri sertlik ölçümleri ile belirlendi. Instron universal sertlik test cihazı kullanılarak metalografik olarak hazırlanmış numunelere sertlik testleri yapılmıştır. Kompozitlerin sertliğini bulmak için Vickers 136° elmas uç ve 300 gr test yükü uygulanarak ölçümler yapıldı. Üretilmiş numune kompozit malzeme olduğu için sertlik izinin homojen olarak



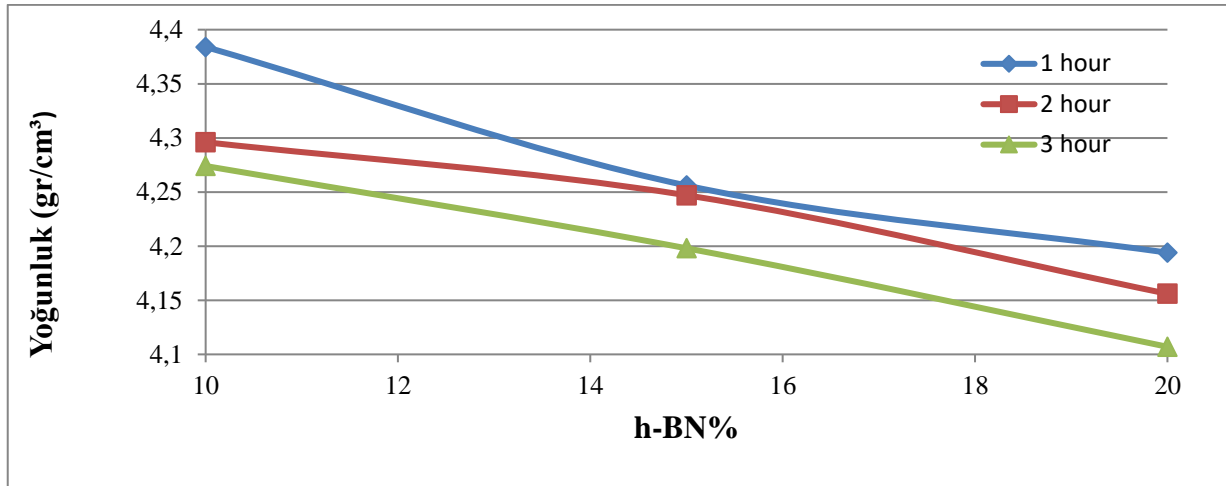
alınması için hem matrisi hem de takviye malzemesinin ölçülmesi gerekmektedir. Sertlik değeri kompozitin kütle sertliğini temsil etmesi için sertlik ölçümleri birbirini izleyen 20 ölçümün ile yapılmıştır. Elde edilen sertlik ölçümü sonuçları 20 değerlerin ortalamasıdır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Elde edilen numuneler, toz metalürjisi ile üretilmiş, h-BN ile güçlendirilmiş Ti6Al4V tozudur. Tozların özellikleri bir önceki bölümde verilmiş ve farklı miktarlarda h-BN içeren kompozitlerin 350 °C de sinterlenmiş ve ortalama yoğunluk değerleri Tablo.2'de listelenmiştir. Malzemelerin teorik yoğunluğu: Ti6Al4V alaşımı 4,43 gr/cm<sup>3</sup>, h-BN 2,28 gr/cm<sup>3</sup>.

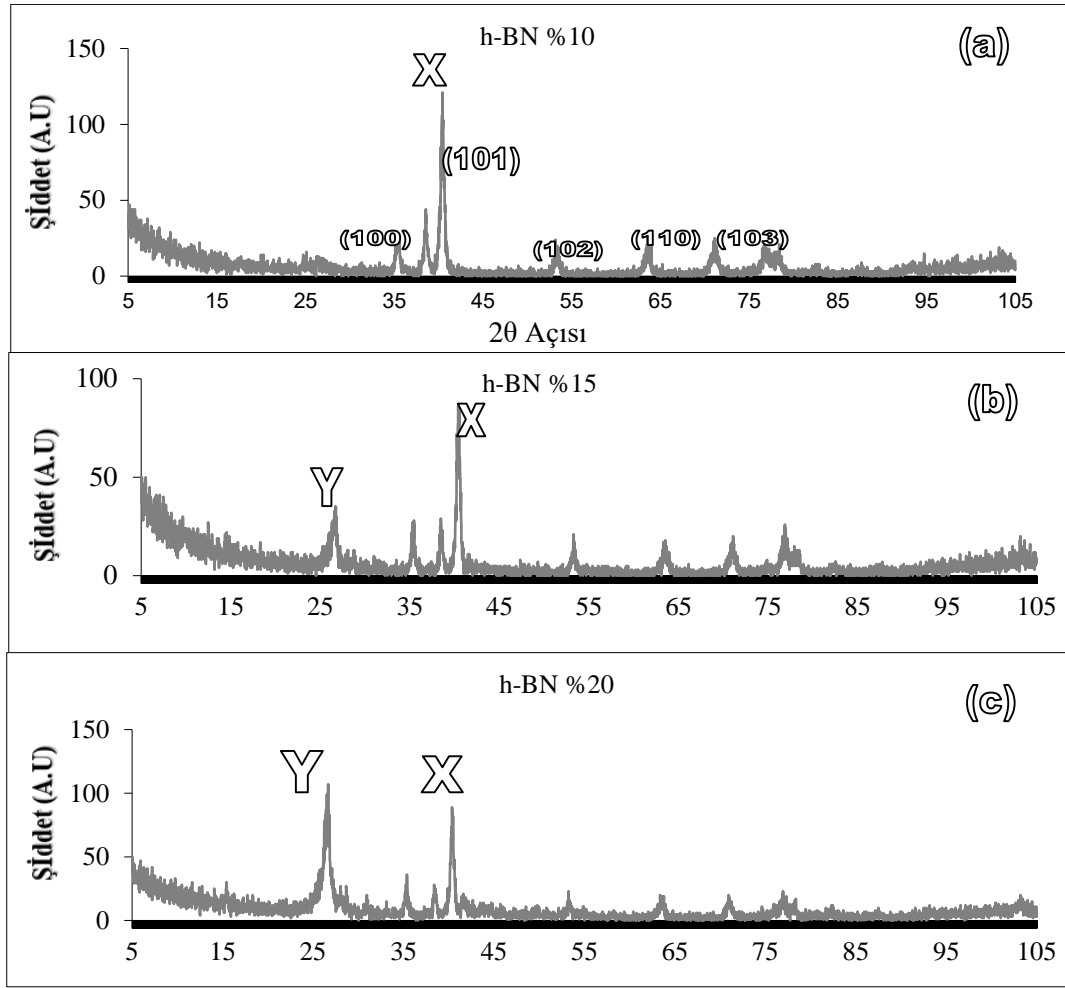
Tablo 2. Kompozit numunelerin saatin fonksiyonu olarak yoğunluğu

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )		
	1 Saat	2 Saat	3 Saat
Takviye h-BN % 10	4,384	4,296	4,274
Takviye h-BN % 15	4,256	4,247	4,198
Takviye h-BN % 20	4,194	4,156	4,107



Şekil 4. h-BN içeriğinin ağırlık yüzdesine göre yoğunluğu

Yoğunluk testleri üç farklı sinterleme sıcaklığı ve üç farklı takviye oranı ile elde edilmiş olan kompozit numunelerin 300 gr ağırlık ölçümü ile bütün numune yüzeyi taranarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri Tablo 2'de listelenmiştir ve h-BN'nin hacimce yüzdesi ve sinterleme zamanı kompozitlerin yoğunluk değerinde azalma olduğu görülmüştür. Bu durum üretilen numunenin zamana göre içyapıdaki poroziteyi elemine etmiş ancak düşük yoğunluğa sahip artan takviye h-BN oranı ile de yoğunluğunun azaldığı Şekil 4'te görülmektedir. BN ve Ti alaşımından elde edilen XRD desenleri Şekil.5'te verilmiştir.

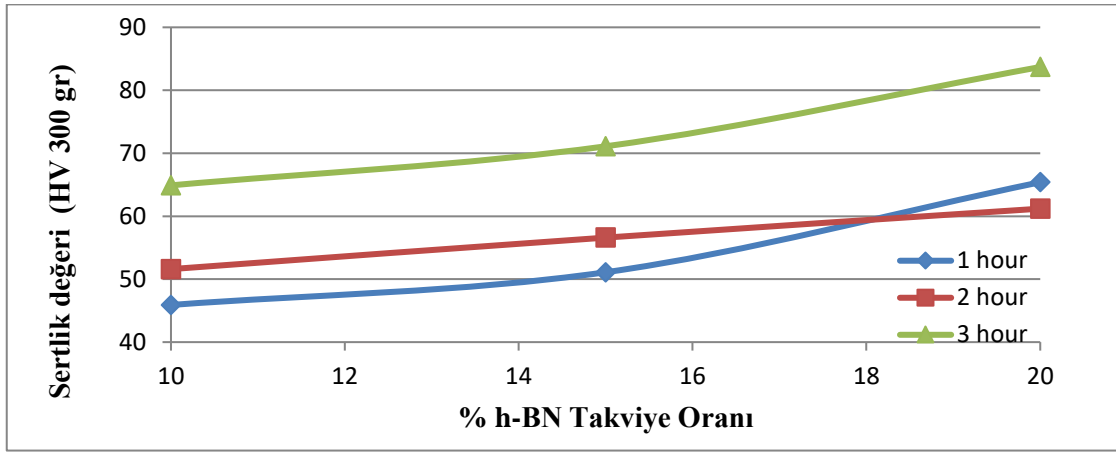


Şekil 5. Farklı hacimde; a) %10h-BN, b) % 15 h-BN, c) %20 h-BN içeren Ti6Al4V alaşım tozunun XRD modelleri

Karakterizasyon testleri üç farklı süresi, üç farklı takviye oranı ve 1350 °C de üretilmiş olan kompozit numunelerin 105 derece ve 20 hassasiyetle taranması ile edilmiştir. Burada ana pik (101) de 39,45(X) derecede görülmüştür. Artan h-Bn oranı ile özellikle %10 ve %15 takviyeli numunelerde sırası ile 26,34 derecede 18,5(Y), 39,6 (Y), 116(Y) Şiddetine sahip pikler görülmüştür. Buda bize elde etmek istediğimiz metal matrisli kompozit üretiminin başarılı sonuç verdiği göstermektedir. Söz konusu sonuçlar Şekil 5’de görülmektedir.

Tablo 3. Farklı sinterleme saatlerine sahip BN'nin sertlik değeri

Malzeme	Sertlik Değeri (HV 300 gr)		
	1 Saat	2 Saat	3 Saat
Takviye h-BN % 10	45,9	51,6	64,9
Takviye h-BN % 15	51,1	56,6	71,1
Takviye h-BN % 20	65,4	61,2	83,7



Şekil 6. Farklı zaman ve farklı % h-BN oranı ile etkilenen kompozit malzemenin sertliği

Vickers sertlik testleri üç farklı sinterleme sıcaklığı ve üç farklı takviye oranı ile elde edilmiş olan kompozit numunelerin 300 gr ağırlık ölçümü ile bütün numune yüzeyi taranarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri Tablo 3'de listelenmiştir ve h-BN'nin hacim yüzdesi arttıkça ve farklı saatlerde kompozitin sertliğinin arttığı Şekil 6'da görülmektedir.

#### 4. DEĞERLENDİRME

- Mevcut çalışmada, farklı h-BN oranları ile güçlendirilmiş Ti6Al4V numunelerinin yoğunluk ve sertlik özellikleri, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir.
- Mevcut çalışmanın sonuçları şu şekilde ifade edilebilir;
- Numunelerin yoğunlukları teorik yoğunluğa azalarak yaklaşır.
- Tüm farklı h-BN içerikleri için sinterleme süresi artar.
- Mikroskopik resimler, h-BN parçacıklarının özellikle matris içinde homojen bir şekilde dağıldığını ve ayrışma olmadığını gösterdi. Ancak h-BN partiküllerinin uç kısımlarında porozite varlığı mevcuttur. Ayrıca öğütme işlemlerinden dolayı gözenekler oluşmuştur.
- XRD, artan h-BN içeriğinin, h-BN'nin ana pikinin alanında bir artışa neden olduğunu verir.
- Sıkıştırma tekniği olarak HIP veya CIP kullanan literatürleri araştırdık. Ayrıca h-BN Islatmayan bir malzemedir. Islatmayan araçlar MA tekniği ile kolayca birleşmiyor ve bağlayıcı kullanılmak zorundadır. Bu bağlayıcı, sinterleme işleminden önce çıkarılır. Bağlayıcı uzaklaştırıldığında numune içerisinde porozite oluşabileceği için bağlayıcı giderme prosesinde parametreler dikkatli seçilmelidir. Söz konusu prosesten sertlik ve yoğunluk değerleri etkilenir.
- Artan h-BN hacim yüzdesi ve sinterleme süresi arttıkça kompozitin sertliği de artmaktadır. BN ilavesiyle sertliğin artması, dispersiyon güçlendirme etkisine bağlanabilir.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### KAYNAKÇA

Alman, D.E. & Hawk, JA. (1999). The abrasive wear of sintered titanium matrix ceramic particle reinforced composites. *Wear*, 225–229, 629-639.

- Chandrasekar, P., Balusamy, V., Ravi Chandran, K.S. & Kumar, H. (2007). Laser surface hardening of titanium–titanium boride (Ti–TiB) metal matrix composites. *Scr Mater*, 56(7), 641-644.
- German, R.M. (2005). Powder metallurgy and particulate materials processing. *Metal powder industries federation*. Princeton USA.
- Huda, M.D. & Hashmi, M.S. (1995). Materials, Manufacturing and Mechanical Properties. *Key Engineering Materials*, 104- 107, 37-64.
- Koczak, M. J. & Premkumar, M. K. (1989). High performance powder metallurgy Aluminum alloys an overview. *Agard Conference Proceedings*, 444, 1-18.
- Lavemia, E.J, Srivatsan, T.S., Ibrahim, LA. & Mohammed, F.A. (1991). Processing techniques for particulate reinforced metal aluminium matrix composites, *Journal of Materials Science*, 26, 5965-5978.
- Lian, G. Zhang, X., Zhu, L., Tan, M., Cui, D. & Wang, Q. (2010). A facile solid state reaction route towards nearly monodisperse hexagonal boron nitride nanoparticles, *J. Mater. Chem.*, 20, 3736–3742.
- Michael, A., Jones, F. & David, R.H. (1992). Engineering materials 2 (with corrections ed.), *Pergamon Press*, Oxford.
- Mosleh, M., Atnafu, N.D., Belk, J.H. & Nobles, O.M. (2009). Modification of sheet metal forming fluids with dispersed nanoparticles for improved lubrication, *Wear*, 267, 1220–1225.
- Murad, M. S., Usta, A., Asmatulu, R. & Ceylan, M. (2022). Studying the electrochemical behaviors of anodized metallic implants for improved corrosion resistance. *İstanbul Commerce University Journal of Science*, 21(41), 117-135.
- O’Connell, T.E. (1983). Production of titanium aluminide products. Report AFWAL-TR-83-4050, Wright-Patterson AFB OH.
- Sahin, E.İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>- chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62, 127-136.
- Sahin, E.I., Emek, M., Ertug, B. & Kartal, M. (2020). Electromagnetic shielding effectiveness of Colemanite/PANI/SiO<sub>2</sub> composites radar and wider frequency ranges. *Beykent University Journal of Science and Engineering*, 13, 34-42.
- Topcu, İ. & Karaman, E. (2019). Çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli düzenli/ düzensiz şekilli Ti-6Al-4V kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1249-1260.
- Topcu, İ. & Ceylan, M. (2020). Wear behavior of irregular shape Ti6Al4V powder reinforced with carbon nanotubes. *Journal of Ceramic Processing Research*, 21(5), 539-546.
- Topcu, İ. (2020). Determination of the mechanical properties of al/mwcnt composites obtained with the reinforcement of cu-coated multiwall carbon nanotubes (MWCNTs). *Materiali in Tehnologije*, 54(5), 689-695.

- Topcu, İ. Çetiner, B.N. Güllüoğlu, A.N. & Özkan, H.G. (2018). Investigation of creep behavior of CNT reinforced Ti6Al4V under dynamic loads. *J. Chem. Soc. Pak.*, 42, 1-7.
- Topcu, İ., Ceylan, M. & Yılmaz, E.B. (2021). Experimental investigation on mechanical properties of Multi Wall Carbon Nanotubes (MWCNT) reinforced aluminium metal matrix composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 21(5), 596-601.
- Topcu, İ. Güllüoğlu, A.N. Gulsoy, H.Ö. & Bilici, M.K. (2019). Karbon nanotüp takviyeli Ti-6Al-4V/KNT kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1441-1450.
- Topcu, İ. (2020). Investigation of wear behavior of particle reinforced AL/B4C composites under different sintering conditions. *Journal of Technical Glasnic*, 14(1),7-14.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

**TEKSTİL BOYAMASINDA KULLANILAN SUYUN ATIK  
MADDE İLE ARITILARAK TEKRAR BOYAMADA  
KULLANILMASI**

**PURIFICATION OF WATER USED IN TEXTILE DYEING WITH WASTE MATERIAL  
AND USING IT IN RE-DYING**

**Aylin YILDIZ<sup>1</sup>**

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1396913>

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author*  
ayildiz@nku.edu.tr

*Geliş Tarihi / Received*  
27.11.2023

*Kabul Tarihi / Accepted*  
07.12.2023

**Öz**

Çevre kirliliği günümüzdeki en önemli sorunlardan biridir. Çevre kirliliği su, hava, toprak, katı atık ve gürültü olmak üzere beş ana başlık altında toplanmaktadır. Atıkların toplanması, taşınması, geri kazanımı ve bertaraf edilmesi çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda katı atık yönetim kavramı oldukça önem taşımakla birlikte çeşitli atık bertaraf stratejileri geliştirilmiştir. Bu yöntemler yakma, düzenli depolama, kompostlaştırma, anaerobik çürütme, piroliz ve geri kazanım başlıkları altında toplanmaktadır. Kırmızı Çamur çoğunlukla “boksit artığı” olarak bilinir ve Alüminyum üretim endüstrilerinde ortaya çıkan yan üründür. Kırmızı çamur içerisinde çok fazla miktarda bulunan demir oksitler nedeniyle kırmızı renkte bir bulamaç görünümündedir. Üretim sürecine giren boksitin yaklaşık %35-40'ı kırmızı çamur halinde atılmaktadır. Literatürde kırmızı çamurun adsorbant ve koagülant olarak kullanıldığı birçok makale mevcuttur. Bu çalışmada, Alüminyum İşletmelerinde ortaya çıkan kırmızı çamur tekstil atıksularının arıtılmasında koagülant olarak kullanılmıştır. Koagülant sonrası arıtılmış su tekstil renklendirilmesinde tekrar kullanılmıştır. Atık bir madde olan kırmızı çamurun koagülant olarak kullanılmasıyla tekstil atık suyu arıtılmış ve bu su ile tekrar boyama yapılmıştır. Bu şekilde atık bertarafı ile çevre ve ekonomiye katkı sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık su, Koagülant, tekstil boyama.

**Abstract**

Environmental pollution is one of the most important problems today. Environmental pollution is grouped under five main headings: water, air, soil, solid waste and noise. Collection, transportation, recovery and disposal of waste are of great importance for environmental health. In recent years, the concept of solid waste management has become very important and various waste disposal strategies have been developed. These methods are grouped under the headings of incineration, landfill, composting, anaerobic digestion, pyrolysis and recovery. Red Mud is mostly known as “bauxite tailings” and is a by-product of Aluminum manufacturing industries. It looks like a red slurry due to the large amount of iron oxides in red mud. Approximately 35-40% of the bauxite entering the production process is discarded as red mud. There are many articles in the literature where red mud is used as an adsorbent and coagulant. In this study, red mud produced in Aluminum Plants was used as a coagulant in the treatment of textile wastewater. Purified water after coagulant was reused for textile coloring. By using red mud, which is a waste material, as a coagulant, textile waste water was increased and dyeing was done again with this water. In this way, waste disposal contributes to the environment and economy.

**Keywords:** Coagulant, textile dyeing, waste water.

<sup>1</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye.  
ayildiz@nku.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3830-2605.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda kırmızı çamurun değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara hız verilmiştir. Kırmızı çamurun potansiyel kullanım alanlarından bir tanesi de çevre sektörüdür. Literatürde kırmızı çamurun adsorbant veya koagülant olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Apak ve ark., 1998; Genç-Fuhrman ve ark., 2005; Paramguru ve ark., 2005; Çengelöglu ve ark., 2006; Altundoğan ve ark., 2002; Bertocchi ve ark., 2006). Çeşitli safsızlaştırma teknikleri kullanılarak söz konusu atıktan demir veya alüminyum tabanlı koagülant üretimi de mümkündür (Orescanin ve ark., 2001). Atıksu arıtımında koagülantlar geniş çaplı kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan koagülantlar  $Fe^{+3}$  ve  $Al^{+3}$  bileşikleridir. Kırmızı çamurda Al ve Fe oldukça yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Bu nedenle kırmızı çamurun koagülant üretmek için uygun bir materyal olabileceği çeşitli çalışmalarda test edilmiştir (Orescanin ve ark., 2001). Tekstil endüstrisi oldukça fazla miktarda su kullanan bir endüstri olduğu için suyu dengeli kullanma gereksinimi dolayısıyla su geri kazanımı ve çeşitli proseslerde yeniden kullanımı konusu ile ilgili çok çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Literatüre bakıldığında tekstil atık suyunun çeşitli arıtma teknikleri uygulanarak geri kazanımıyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. (Papic ve ark., 2004; Charoenlarp & Choyphan, 2009; Hul ve ark., 1997, All`egre ve ark. 2006)

## 2. MATERYAL METOD

### 2.1. Materyal

Koagülant olarak kullanılacak kırmızı çamurun içerisindeki kimyasal miktarları Tablo 1'de verilmiştir. (Yıldız ve ark., 2015)

Tablo 1. Kırmızı Çamur Kimyasal Kompozisyonu

Kırmızı Çamur			
Element	%	Oksit	%
Al	11,641	$Al_2O_3$	21,995
As	0,020	$As_2O_3$	0,026
Ca	3,182	CaO	4,452
Ce	0,067	$Ce_2O_3$	0,078
Cl	0,059	Cl	0,059
Cr	0,074	$Cr_2O_3$	0,108
Fe	25,474	$Fe_2O_3$	36,422
Ga	0,004	$Ga_2O_3$	0,005
K	0,432	$K_2O$	0,520
Mg	0,177	MgO	0,293
Mn	0,018	$MnO_2$	0,029
Na	9,297	$Na_2O$	12,532
Nb	0,006	$Nb_2O_5$	0,009
Ni	0,043	NiO	0,055
O	38,286		
P	0,009	$P_2O_5$	0,021
Pb	0,013	PbO	0,014
S	2,197	$SO_3$	5,486
Si	6,195	$SiO_2$	13,254
Sr	0,004	SrO	0,005
Th	0,008	$ThO_2$	0,009
Ti	2,696	$TiO_2$	4,497
Y	0,017	$Y_2O_3$	0,021
Zr	0,082	$ZrO_2$	0,110

Kırmızı çamur radyoaktif özelliklere sahiptir Kırmızı çamurun radyoaktif özellikleri Tablo 2’de verilmiştir

Tablo 2.Kırmızı Çamurun Radyoaktivite Analizleri

Element	Cs-134	Cs-137	K-40	Ra-226	Th-232
Kırmızı çamur Bq/kg	<4,4	<5,7	110,4±22,4	128,1±3,2	357,4±9,6

Kırmızı çamurun fiziksel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3.Kırmızı Çamur Fiziksel Özellikleri

Parametreler		Değer
Renk		KIRMIZI
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	1310,46
Gözenek hacmi	cc/g	0,019
Spesifik yüzey alanı	m <sup>2</sup> /g	13,765
Elektriksel İletkenlik	dS/m	10,58
pH		8,60

Kırmızı çamurun mineralojik bileşimine bakıldığında kuvars, hematite, feldispat, anhydrite, kristobalite ve magnesioferrite bulunmaktadır. Kırmızı çamurun sıcaklık, kostik konsantrasyonu, reaksiyon zamanı, katı bileşenler ve miktarları, çözeltideki safsızlıklar gibi teknolojik parametrelere bağlı olarak yapısında sodyum alüminyum silikatlar meydana gelir. (Uzun, 2006) Belli şartlarda sodyum titanatlar, boksitteki TiO<sub>2</sub>’de alüminat çözeltisiyle karşılıklı etkileşime girmesiyle değişen kompozisyonlarda meydana getirmektedir. Bayer çözeltisinde Demir bileşenleri katı fazda bulunur. Kırmızı çamurun çökme ve filtrasyon işlemlerine olumsuz yönde etki eden Demir Boksitlerde götit formunda bulunur. Genellikle Kırmızı çamur işleme teçhizatı, örneğin çöktürücüler, yıkayıcılar, filtreler, hematit tipi boksitlerin çamur teçhizatına nazaran daha büyük tutulmalıdır. Buda yatırım maliyetini ve işletme maliyetini olumsuz etkiler. Bu durumda çözünürleştirme işlemine CaO, sülfatlar, klorürler gibi katkı maddeleri ilave edilir. Kontrol edilen şartlar altında götit hematit haline dönüşür ve sonuç olarak çamurun çökme ve filtrasyon karakterleri iyileşir.

## 2.2. Metod

### 2.2.1. Tekstil atık suyunda Koagülant olarak kullanılan HCl ile muamele edilen kırmızı çamurun optimum koşullarının bulunması

Kuru halde kullanılan kırmızı çamur sürekli aynı olmuyor, her alınan atık su numunelerinde aynı değişimleri göstermiyor. Bu yüzden bu aşamada kırmızı çamur; HCl eşliğinde aktive edilmiştir. Böylece atık suyun tekrar tekrar, sürekli aynı verimliliğe ulaşması çalışılmıştır. Bunun için, 4g kuru kırmızı çamur tartılarak 20 mL HCl ile muamele edilmiştir. Elde edilen HCl aktive edilen kırmızı çamur 24 saat bekletilmiş ve bunun sonucunda optimum koşul bulunmaya çalışılmıştır. Atıksu numunelerinin fotoğrafları çekilmiş, absorbans ve iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Bu kez üç farklı absorbans ölçümü yapılmıştır. Çünkü absorbans değerinin sadece bir ölçüme indirgenmesi doğru sonucu vermemektedir. Absorbans ölçümlerinin 436 nm, 525 nm ve 620 nm aralıklarında ölçülmüştür. Böylece optimum pH ile optimum kırmızı çamur miktarı bulunmaya çalışılmıştır. Bu nedenle optimum çalışma koşulunun bulunması amacıyla;



- 500 mL tekstil atıksuyu ile
- 1mL katyonik polielektrolit
- 6 farklı pH'ta (pH 3-7-9-11-12-13)
- 6 farklı kırmızı çamur miktarı ile ( 1-2-3-4-5-6 mL)

farklı konsantrasyonlarda atık su konsantrasyonları oluşturulmuştur.

Kırmızı çamur HCl ile aktive halinde iken tekstil atık suyunda değişik miktarlarda denenmiş olup, 500 mL'lik tekstil atık suyuna 6 farklı pH'da 6 farklı miktarda kırmızı çamur konulmuştur. İlk numunelere 1 mL, 2. numunelere 2 mL, 3. numunelere 3 mL, 4. numunelere 4 mL, 5. numunelere 5 mL ve 6. numunelere 6 mL oranlarında ilave edilmiştir.

## 2.2.2. Kırmızı çamur ile arıtılmış olan tekstil atık suyunun tekrar boyamada kullanımı

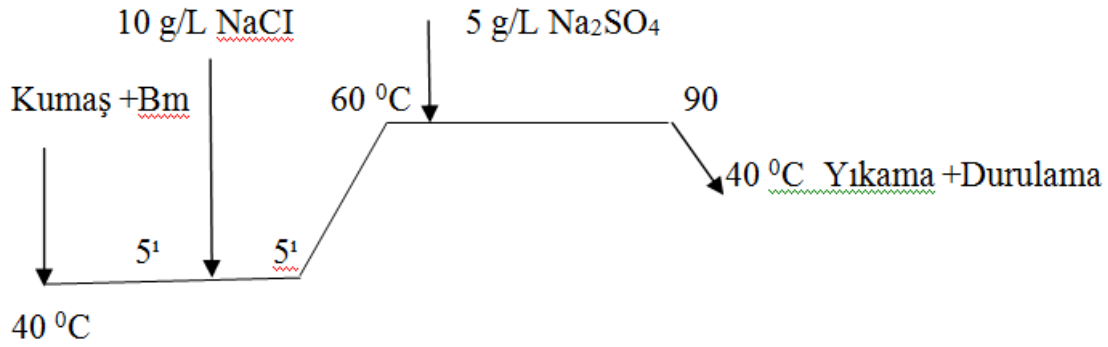
Arıtılmadan önceki proseste, reaktif boyar madde ile boyamada kullanılan tekstil atık suyu kırmızı çamur ile arıtıldıktan sonra, çeşitli oranlarda deiyonize su ile karıştırılarak farklı özellikte su içeren banyolar hazırlanmış ve kodlanmıştır. Tablo 4'de bu oranlar ve kodları % kullanım oranlarına göre verilmiştir.

Tablo 4 Hazırlanan Suların Kod ve % Saf Su /Atık Su Oranları

Kullanılan Suyun Kodu	Hazırlanan Saf su(SS) ve Atıksu oranları(AS)
S100	% 100 Saf su
SS 25 / 75 AS	%25 Saf su / % 75 Atık su
SS 50 / 50 AS	%50 Saf su / % 50 Atık su
SS 75 / 25 AS	%75 Saf su / % 25 Atık su
AS 100	% 100 Atık su

Çalışmada kullanılan sular, normal çeşme suyu ile Tekstil terbiye firmasından boyama işlemi sonrası makine çıkışından alınmış su numunesidir. Normal su/ Atık su oranları banyo başına mezür (ölçü kabı) kullanılarak, 0,01 ml hassasiyetle hazırlanmıştır.

Araştırmada, Jay House Panchvati Circle firmasına ait (JAKAZOL RED CE cas. 77365-64-1) kırmızı reaktif boyarmaddeler 1:20 banyo oranına göre % 0,5, 1, 2 boyarmadde konsantrasyonlarda (% boyama koyuluklarında) hazırlanmıştır. Boyar madde alımını kolaylaştırmak ve afiniteyi sağlamak için boyar madde banyosu içerisine 5 g/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 10 g/L NaCl eklenerek hazırlanan banyo 100 ml ye tamamlanmıştır. Boyanacak materyal olarak, 5g ağırlığında %100 CO pamuklu atkı ve çözgü de 40Nm S22 iplik içeren 1:1 bez ayağı örgülü dokuma kumaş kullanılmıştır. Kumaş, rulo yapılarak hazırlanan banyo ile birlikte, "Termal Marka" etilen glikol yağ ısıtmalı cihazın çelik tüpleri içerisine konularak 60 °C sabit sıcaklıkta 90 minumum sürede boyama işlemi gerçekleştirilmiştir



Şekil 1. Kumaşlara Uygulanan Boyama Reçetesi

Boyama sonrası taşar yıkama işlemi ile durulanan kumaşlar, kondüsyon ortamında (%65 relatif nem ve  $\pm 22$  °C de klimatik ortamda) serilerek kurumaya bırakılmıştır.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 3.1. Tekstil Atık suyunda Koagülant Olarak Kullanılan HCl ile Muamele Edilen Kırmızı Çamurun Optimum Koşulları

Kırmızı çamur HCl ile aktive halinde iken tekstil atık suyunda değişik miktarlarda denenmiş olup, 500 mL'lik tekstil atık suyuna 6 farklı pH'da 6 farklı miktarda kırmızı çamur konulmuştur. Sonuçlar Tablo 5 'de gösterilmiştir

Tablo 5. HCl ile aktive edilen Kırmızı Çamur için optimum konsantrasyon ve pH sonuçları

pH 3				iletkenlik miktarlar <sub>1</sub>	pH 7				
Kırmızı çamur miktarlar <sub>1</sub>	Ölçülen Absorban s değerleri (436 nm)	Ölçülen Absorban s değerleri (525nm)	Ölçülen Absorban s değerleri (620nm)		Ölçülen Absorban s değerleri (436 nm)	Ölçülen Absorban s değerleri (525nm)	Ölçülen Absorban s değerleri (620nm)	iletkenlik miktarlar	
1 mL için	0,250	0,195	0,173	13,35	0,144	0,142	0,156	8,45	
2 mL için	0,241	0,208	0,178	14,06	0,105	0,114	0,134	5,90	
3 mL için	0,325	0,236	0,237	14,15	0,140	0,148	0,147	6,30	
4 mL için	0,264	0,228	0,210	16,6	0,145	0,137	0,131	7,70	
5 mL için	0,248	0,212	0,195	16,73	0,403	0,244	0,187	8,70	
6 mL için	0,232	0,205	0,193	23,4	0,701	0,512	0,385	9,25	
pH 9				iletkenlik miktarlar <sub>1</sub>	pH 11				
1 mL için	0,737	0,421	0,331		13,88	0,503	0,265	0,200	6,89
2 mL için	0,650	0,373	0,254		17,64	0,280	0,166	0,139	7,67
3 mL için	0,109	0,051	0,050	10,74	0,138	0,076	0,064	8,42	

4 mL için	0,105	0,052	0,053	11,58	0,092	0,045	0,030	8,38
5 mL için	0,112	0,060	0,054	9,58	0,070	0,034	0,013	9,02
6 mL için	0,106	0,056	0,048	9,43	0,090	0,053	0,022	11,01
pH 12				pH 13				
1 mL için	0,327	0,180	0,161	10,60	0,251	0,157	0,196	38,30
2 mL için	0,344	0,190	0,156	9,64	0,247	0,156	0,184	28,60
3 mL için	0,304	0,172	0,139	3,21	0,220	0,133	0,152	33,10
4 mL için	0,310	0,176	0,143	10,64	0,216	0,132	0,146	25,10
5 mL için	0,234	0,138	0,116	10,65	0,214	0,133	0,147	27,10
6 mL için	0,221	0,132	0,114	11,00	0,199	0,124	0,138	30,90

### 3.2. Kırmızı Çamur ile Arıtılmış olan Tekstil Atık Suyunun Tekrar Boyamada Kullanımı Sonuçları

Aşağıda Şekil 2 de Farklı oranlarda karıştırılmış saf ve atık su banyolarında 3 farklı % boyama koyuluğunda boyanmış kumaşların fotoğrafları, farklı numunelere yapılan boyama sonrası elde edilen renk ölçümü değerleri Tablo 6'da, kırmızı boyarmadde için renk verimi değerleri (K/S) sonuçları Tablo 6'da ve boyanmış kumaşların renk verim değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



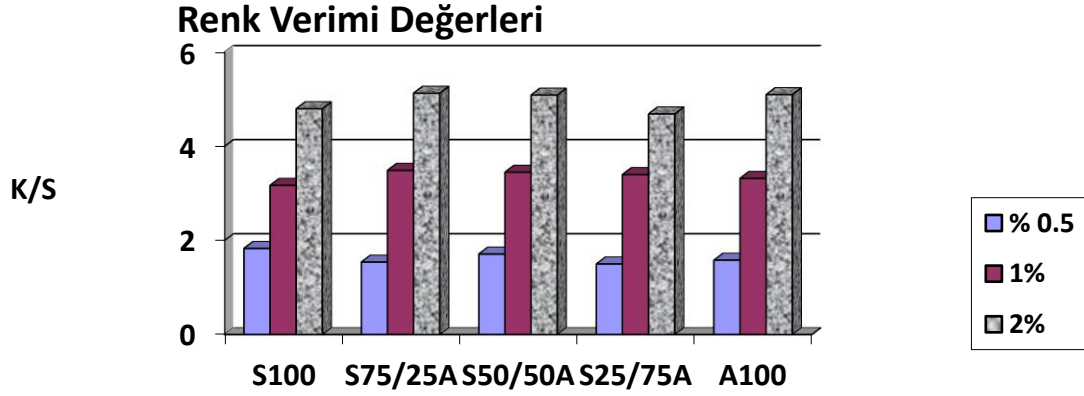
Şekil 2. Farklı Oranlarda Karıştırılmış Saf ve Atık Su Banyolarında 3 Farklı %Boyama Koyuluğunda Boyanmış Kumaşlar ve Kodları

Tablo 6. Farklı numunelere yapılan boyama sonrası elde edilen renk ölçümü değerleri

% Saf su (SS) ve Atık Su Miktarları (AS)	BOYAMA KOYULUĞU %	L*	a*	b*	c*	h <sup>0</sup>
S 100	0,5	55,85	43,26	-5,62	43,62	352,59
	1	56,80	50,83	-3,86	50,98	355,66
	2	54,17	53,15	-3,40	53,26	356,35
SS 75/25 AS 1	0,5	64,34	41,89	-5,72	42,27	352,31
	1	56,12	47,46	-6,02	47,84	353,17
	2	52,30	53,06	-2,88	53,14	356,86
SS 50/50 AS	0,5	63,36	39,27	-7,44	41,20	350,17
	1	56,20	50,16	-4,58	50,37	354,88
	2	52,80	52,18	-3,19	52,28	356,25
SS 25/75 AS	0,5	64,06	40,74	-6,76	42,27	352,31
	1	55,00	48,90	-5,09	49,16	354,27
	2	51,47	52,04	-3,70	52,17	355,97
AS 100	0,5	63,55	38,94	-6,86	39,53	350,71
	1	55,32	47,16	-5,86	47,52	353,30
	2	51,79	52,66	-3,46	52,77	356,25

Tablo 7. Kırmızı Boyarmadde için Renk Verimi Değerleri(K/S)

KIRMIZI	S100	S75/25A	S50/50A	S25/75A	A100
% 0,5	1,83	1,54	1,71	1,50	1,58
%1	3,17	3,49	3,45	3,40	3,32
%2	4,80	5,13	5,09	4,69	5,10



Şekil 3 Boyanmış Kumaşların Renk Verim Değerleri

Kırmızı renk ile boyanmış numunelerin haslık testi değerleri Tablo 8'de belirtmektedir

Tablo 8. Numunelere Göre Tüm Haslık Testi Değerleri

BOYAMADA KULLANILAN SU	% BOYARMADDE KONSANTRASYONU		SÜRTME HASLIĞI		YIKAMA HASLIĞI	IŞIK HASLIĞI
			YAŞ	KURU		
S 100	kırmızı	0,5	3/4	4/5	3/4	4
		1	3/4	4/5	3	4
		2	3	4/5	3	4
S 75/25 A	kırmızı	0,5	3/4	4/5	3/4	4
		1	3/4	4/5	3	4
		2	3	4/5	3	4
S 50/50 A	kırmızı	0,5	4	4/5	3/4	3/4
		1	3/4	4/5	3	3/4
		2	3	4/5	3	4
S 25/75 A	kırmızı	0,5	3/4	4/5	3/4	3/4
		1	3	4/5	3	3/4
		2	3/4	4	3	3/4
AS 100	kırmızı	0,5	3/4	4/5	3/4	3/4
		1	3	4/5	3	3/4
		2	3	4/5	3	3/4

Tüm pH koşullarındaki ölçülen absorpsiyon değerleri incelendiğinde üç farklı dalga boyunda da en küçük değer pH 11’de 5 mL kırmızı çamurun olduğu atıksu ile sağlanmıştır. Bunun sonucunda da optimum koşul; pH 11’de 5 mL HCl aktive edilmiş kırmızı çamur gözlemlenmektedir. Böylece bu koşulda tekrar kullanılabilirliği sağlanan atık suyun hem renk giderimi kullandığımız boyama suyuna en yakın renk değerindedir hem de görünüm olarak ta kullandığımız boyama suyuna çok yakın görünümündedir. Tüm haslık testleri, solmada (kumaş üzerinden) ve lekelemede (refakat kumaşı veya multifiber test kumaşı) olmak üzere, 1 en kötü, 5 en iyi değer olarak gri skalaya göre değerlendirildi. Haslık boyarmadde ile renklendirilmiş tekstil materyallerinin, son kullanım özelliklerine bağlı olarak dış etkenlere karşı gösterdiği dirençtir. Yıkamaya karşı renk haslığı son kullanıcı tarafından istenilen en önemli özelliktir. Test sonuçlarının ortalaması alındığında kırmızı boyarmadde kullanılan kumaşta yıkama haslığı ortalama 3/4 saptanmıştır. Boyarmaddenin aşınmaya karşı gösterdiği direnç anlamına gelen sürtmeye (crocking) karşı renk haslığı, mekanik etkilerin boyarmaddeye etkisini gösteren önemli bir özelliktir. Çalışmada kuru olarak yapılan testlerde 4/5, yaş testlerde ise 3/4 ortalama değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar istenilen optimum özellikleri karşılamaktadır. Kırmızı renk boyarmadde, farklı oranlarda karıştırılmış su kullanılan numunelerde %0,5 konsantrasyonda boyama hariç güzel K/S renk verimi değerleri elde edilmiştir. %1 ve %2 konsantrasyonlarda çeşme suyuna göre atık su miktarı arttıkça daha güzel verimlilik sağlanmıştır. Fakat %2 konsantrasyonda S25/75AS boyamasında SS 100’e göre daha düşük verim elde edilmiştir. %0,5 konsantrasyonda atık suyla boyamalarından beklenen sonuçlar elde edilemeyip daha düşük verim sağlanmıştır. Kısaca özetlersek araştırmamız düşük konsantrasyonlar için çok fazla uygun olmayıp yüksek konsantrasyonlarda daha iyi sonuçlar vermektedir.

### Teşekkür

Çalışmada katkısı olan Semih ALKANAT’a teşekkür ederim

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**KAYNAKÇA**

- All'egre, C., Moulin ,P., Maisseu M. & Charbit F. (2006). Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. *Journal of Membrane Science*, 269, 15–34.
- Altundoğan, H.S., Altundoğan, S., Tümen, F. & Bildik, M. (2002). Arsenic adsorption from aqueous solutions by activated red mud. *Waste Manage*, 22, 357–363.
- Apak, R., Güçlü, K. & Turgut, M.H. (1998). Modeling of copper(II), cadmium(II), and lead(II) adsorption on red mud. *Journal Colloids Interf. Sci.*, 203, 122–130.
- Bertocchi, A.F., Ghiani, M., Peretti, R. & Zucca, A., (2006). Red mud and fly ash for remediation of mine sites contaminated with As, Cd, Cu, Pb and Zn. *Journal Hazard. Mater.*, 134, 112–119.
- Çengelöglu, Y., Tor, A., Ersöz, M. & Arslan, G. (2006). Removal of nitrate from aqueous solution by using red mud. *Sep. Purif. Technol.*, 51, 374–378.
- Charoenlarp, K. & Choyphan, W. (2009). Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. *As. J. Energy Env.* 10(4), 250-260.
- Genç-Fuhrman, H., Bregnhøj, H. & McConchie, D. (2005). Arsenate removal from water using sand-red mud columns. *Water Res.*, 39, 2944–2954.
- Hul, J., Racz, I.G. & Reith, T. (1997). The application of membrane technology for reuse of process water and minimisation of waste water in a textile washing range. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 113(11), 322-326.
- Orescanin, V., Durgo, K., Franekic-Colic, J., Nad, K. & Valkovic, V. (2003). Physical, chemical, and genotoxic properties of waste mud by-product of waste water treatment. *Jornal Trace Microprobe*, 21, 123–132.
- Papic, S., Koprivanac, N., Bozic, A.L. & Metes, A. (2004). Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process. *Dyes and Pigments*, 62, 291–298.
- Paramguru, R.K., Rath, P.C. & Mısra, V.N. (2004). Trends in red mud utilization-a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 26(1), 1-29.
- Uzun, D. (2006). *Kırmızı çamurdan demir ve alüminyumun sülfürik asit çözeltisindeki çözünme kinetiği* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yıldız, A., Oztas, M., Karakaya, N., Evrendilek, F., Akyildiz, A., Agirgan, A.Ö., Tinmaz-Kose, E., Sisman, C.B., Kaykioglu, G. & Celik, S.Ö. (2015). Novel uses of red mud in textile wastewater treatment. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(5), 1171-1181.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# KARBON FİBER KATKILI POLİAMİT 66 POLİMER KOMPOZİTLERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

## EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF CARBON FIBER FILLED POLYAMIDE 66 POLYMER COMPOSITES

Bilal ÖZSARIKAYA<sup>1</sup>

Salih Hakan YETGİN<sup>2</sup>

Sinan KÖSE<sup>3</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1337774>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
shakanyetgin@tarsus.edu.tr

Geliş Tarihi / Received  
04.08.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
11.12.2023

### Öz

Bu çalışmada, poliamit 66 (PA66) polimeri ile ağırlık olarak % 10, %20 ve %30 oranlarında karbon elyaf (KE) takviyeli poliamit 66 kompozitlerinin aşınma ve sürtünme davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri çelik diske karşı kuru ortam şartları altında gerçekleştirilmiştir. Karbon elyaf katkılı PA66 kompozitleri çift vidalı ekstruderde granül olarak üretilmiş sonrasında enjeksiyon makinesi ile aşınma test numuneleri basılmıştır. Aşınma testleri 0,4, 0,8 ve 1,2 m/s kayma hızlarında, 20, 30 ve 40N yükler altında yapılmıştır. Deneyler, ortam sıcaklığında pim-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. 0,8 m/s hız ve 30N yükte, PA66 polimerine ilave edilen %10, %20 ve %30 oranlarındaki KE, sürtünme katsayısını %12,4, %23,5 ve %32,7 oranında, aşınma oranlarını ise %19,9, %38,9 ve %82,0 oranında azaltmıştır. Artan yük ve hız ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranı artmıştır. Genel olarak, PA66 ve PA66/KE kompozitlerin aşınma oranları  $10^{-10}$  mm<sup>3</sup>/Nm olarak elde edilmiştir. Aşınma oranı ve sürtünme katsayısı arasındaki korelasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) PA66 polimeri için 0,9686, PA66/30KE kompozitin için ise 0,775 olarak elde edilmiştir. Uygulanan tribolojik test çalışma şartlarında % 30 oranında karbon elyaf takviyeli PA66 kompozitin katkısız PA66'ya göre ortalama %82 oranında dirençli olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, karbon fiber, poliamit66, sürtünme.

### Abstract

In this study, the wear and friction performances of polyamide 66 (PA66) polymer and 10wt%, 20wt% and 30wt% carbon fibre (CF) reinforced polyamide 66 composites were investigated. Wear tests were carried out against a steel disc under dry ambient conditions. Carbon fibre reinforced PA66 composite was produced as granules in a twin screw extruder and then wear test specimens were molded in an injection molding machine. The wear tests were performed under 20-30-40N loads at sliding speeds of 0,4, 0,8 and 1,2 m/s. The tests were accomplished at ambient temperature using a pin-on-disc abrasion tester. At 0,8 m/s sliding speed and 30N load, 10%, 20% and 30% CF added to PA66 polymer reduced the coefficient of friction by 12,4%, 23,5% and 32,7%, and the wear rates by 19,9%, 38,9% and 82,0%. While the coefficient of friction and wear rate increased with the raise of the applied load and sliding speed. In general, the wear rates of PA66 and PA66/CF composites were obtained as  $10^{-10}$  mm<sup>3</sup>/Nm. The correlation coefficient (R<sup>2</sup>) between wear rate and friction coefficient was obtained as 0,9686 for PA66 polymer and 0,775 for PA66/30CF composite. In the tribological test working conditions applied, it was determined that carbon fibre reinforced PA66 with 30 % carbon fibre reinforcement was 82% resistant on average than PA66 polymer.

**Keywords:** Carbon fiber, friction, polyamide66, wear.

<sup>1</sup>İhlas Ev Aletleri İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye  
bozsarikaya34@gmail.com, Orcid.org/0000-0003-3065-6361.

<sup>2</sup>Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye.  
shakanyetgin@tarsus.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-6068-9204.

<sup>3</sup>Tarsus Üniversitesi, MOSB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknoloji Bölümü, Mersin, Türkiye.  
sinankose@tarsus.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-6224-3388.

## 1.GİRİŞ

Küresel ısınma gibi enerji sorunları nedeniyle son zamanlarda, enerji tasarrufu sağlayan ve karbondioksit emisyonlarını azaltan, daha hafif otomobil parçalarına yönelik gereksinimler artmıştır. Otomotiv endüstrisinde bu talepleri karşılayabilecek en önemli malzeme grubu ise polimer esaslı malzemelerdir (Sarita & Senthilvelan, 2019 Tavcar ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2020). Mühendislik polimeri grubunda yer alan Poliamit 66 (PA66) polimeri ısı direnci, yüksek mukavemet, tokluk ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir (Harrass ve ark., 2010; Wenhu ve ark., 2017). Bu nedenle PA66 polimeri, çeşitli dişliler (Kunishima ve ark., 2020a; Kunishima ve ark., 2020b), yatak tutucuları (Baker & Rials, 2013) ve makaralar (Tewari ve ark., 1992) gibi otomobilde veya endüstriyel makinelerde aşınma ve sürtünme parçaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, modifiye edilmemiş poliamit 66 polimerinin, mekanik özelliklerin sınırlı olması, düşük ısıl deformasyon sıcaklığı, yüksek nem alma ve ölçüsel kararsızlığı gibi dezavantajları nedeniyle daha yüksek mekanik ve tribolojik özellikler gerektiren uygulamalarda talepleri karşılayamadığı da bilinmektedir (Zhaobin ve ark., 2010). Dolayısıyla, üstün özelliklere sahip malzemelerin elde edilmesi aşamasında, dolgu malzemelerinin kullanılması, iki polimerin harmanlanması ve kopolimerleştirme işlemleri ile mukavemet artırıcı katkıların kullanılması geniş bir şekilde araştırılmıştır (Lingesh ve ark., 2014; Shaofeng ve ark., 2012). Cam elyaflar (GF), karbon elyaflar (CF) veya aramid elyaflar (AF) gibi mukavemet artırıcı katkıların eklenmesi, poliamit polimerinin tribolojik özelliklerini iyileştirmenin yaygın bir yoludur (İbrahim ve ark., 2021; Kunishima ve ark., 2020c; Suresha ve ark., 2010). Bunların içerisinde fiyat performans açısından cam elyaflar (GF) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, cam elyaflar, düşük maliyet, yüksek çekme dayanımı, yüksek rijitlik, mükemmel korozyon direnci, iyi boyutsal kararlılık ve iyi yalıtım özellikleri de sağlamaktadır (Essabir ve ark., 2018; Niyaraki ve ark., 2021; Nuruzzaman ve ark., 2016; Zhou ve ark., 2019). Srinath ve Gnanamoorthy (2005) %20 oranında cam elyaf katkılı PA66 kompozitinde sürtünme katsayısının yaklaşık %28 oranında spesifik aşınma oranının ise yaklaşık %74 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Kim ve arkadaşları (2014) PA66 polimerine %30 cam elyaf ilavesi ile aşınma direncinin arttığını ancak sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. Byett ve Allen (1992), paslanmaz çeliğe (AISI 431) karşı kuru kayma şartları kullanılarak yapılan aşınma testleri sonucunda, %40 cam elyaf miktarında, düşük yük (2 kg) altında spesifik aşınma miktarının yaklaşık %99 oranında, yüksek yük (10 kg) altında ise yaklaşık %76 oranında azaldığını sürtünme katsayısının ise arttığını belirtmişlerdir.

Son yıllarda ise karbon fiberler (CF), düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve elastiklik modülü, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik gibi özellikleri nedeniyle hem mühendislik polimerleri hem de yüksek performans polimerleri için ideal mukavemet artırıcı malzeme olarak ön plana çıkmaktadır (Chukov ve ark., 2015; Kausar, 2019; Shelke, & Pawar, 2017). Luo ve arkadaşları (2016) %5, %10 ve %15 oranlarında kısa karbon elyaf (KCF) takviyeli %85PPS/%15PTFE polimer kompozitlerin kuru ortam şartları altında tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda %15 CF içeriğine ulaşıldığında PPS/PTFE kompozitin spesifik aşınma oranı ve ortalama sürtünme katsayısı sırasıyla  $5,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$  ve 0,0085 değerine ulaşmış ve bu değerlerin PPS/PTFE karışımına göre sırasıyla %88 ve %47 oranlarında daha düşük olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda uygulanan yükün artırılması ile sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma oranının arttığı belirtilmiştir. Caia ve arkadaşları (2011) katkısız PA66 ve karbon fiber katkılı PA66 kompozitlerin kuru ve yağlı ortamdaki tribolojik performanslarını incelemişlerdir. Artan yük ile birlikte PA66/KE kompozitlerin sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının arttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısı azalırken spesifik aşınma artmıştır. Chang ve arkadaşları (2006) karbon elyaf, grafit ve nano-titanyum dioksit gibi geleneksel katkıların PA66 polimerinin sürtünme katsayısını önemli oranda azalttığını belirtmişlerdir. Tewari ve arkadaşları (1992) karbon elyaf ilavesi ile aşınma direncinin kötüleştiğini, kopma uzamasının azaldığını ve çekme mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir.



Kullanılan fiber türü ve fiber yönlenmesi, fiberlerin uzunlukları ve miktarları gibi takviye/fiber parametreleri kompozitlerin performansına etki etmektedir. İmalat ve fiber parametrelerinin yanı sıra, fiber/matris arasındaki arayüzey yapışması ile uygulanan yük, kayma mesafesi ve hız gibi çalışma koşulları da kompozitlerin mukavemet ve tribo-performanslarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Raajeshkrishna ve ark., 2019). Kayma hızı ve uygulanan yük sürtünme katsayısı ve aşınma oranı üzerine etkili en önemli iki parametredir (Kumar & Panneerselvam, 2018). Bu çalışmada da %10, %20 ve %30 oranlarında karbon fiber ilaveli PA66 kompozitlerin 3 farklı yük (20-30-40N) ve üç farklı kayma hızı (0,4-0,8-1,2 m/s) altındaki tribolojik özellikleri incelenmiştir. PA66 polimerine ilave edilen farklı oranlardaki karbon fiberin, uygulanan yükün ve kayma hızının PA66 polimerinin sürtünme katsayısı ve aşınma miktarına olan etkileri değerlendirilmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Matris malzemesi olarak, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama proseslerine uygun olan poliamit 66 (PA66) polimeri kullanılmıştır. PA66 polimeri, yerleşkesi Tuzla/İstanbul'da bulunan Biesterfeld firmasının temin ettiği ve Dupont firmasının ürettiği Zytel® 101 NC010 kodlu polimerdir. Firma tarafından belirtilen teknik verilere göre kullanılan PA66'nın yoğunluğu ISO 1183 metoduna göre 1,14 g/cm<sup>3</sup>'tür. Ergime sıcaklığı 280-300°C, nem absorpsiyonu (23 °C, %50RH) ISO 62 metoduna göre %2,6'dır. Çalışmada, kırılmış karbon elyaf (KE), DOWAKSA firmasından AC-4102 kodu ile temin edilmiştir. Firma teknik verilerine göre kırılmış elyaf boyları 6 mm'dir. ISO 10119 test metoduna göre yoğunluğu ise 1,77 g/cm<sup>3</sup>'tür. PA66 kompozit granüllerin üretilmesinde Gama Alfa firmasında bulunan Coperion Werner & Pfleiderer marka kompaund ekstrüder makinası kullanılmıştır. 3 beslemeli, 11 adet ısıtma bölgesi bulunan makinanın L/D oranı 24'tür. Besleme bölgesinden ekstrüder kafasına kadar olan sıcaklık dağılımı, 265-270-275-280-285°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ekstrüze edilen kompozitlerin granül halini alması için ekstrüder makinası sonunda Scheer marka dilimleme cihazı mevcuttur. Kompozitlerin üretiminden önce PA66 polimerinin nem alma işlemi etüv fırınında 4 saat süresince 80°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonrasında, Haitian MA2000 marka enjeksiyon makinesinde standartlara uygun olarak deney numuneleri üretilmiştir. Bu üretimler Gama-Alfa firmasında gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon prosesinden önce tüm numuneler etüv fırınında 4 saat süresince 100°C'de nem alma işlemine tabi tutulmuştur. PA66 polimerinin üretilmesinde 270-275-280-285-290°C sıcaklık dağılımı kullanılırken PA66 kompozitlerin üretiminde 285-290-295-300-305°C sıcaklık dağılımı kullanılmıştır. Üretimlerde enjeksiyon basıncı PA66 ve PA66/KE kompozitlerin için sırasıyla 120 ve 140 bar, enjeksiyon hızı ise 55 m/s ve 66 m/s olarak ayarlanmıştır. PA66 polimeri ile %10, %20 ve %30 KE katkılı PA66 kompozitlerin aşınma-sürtünme deneyleri için Ø6 mm ölçülerinde hazırlanan deney numuneleri kullanılmıştır. Deneyde, numune pimlerinin karşısında sürtünme plakası olarak disk şeklinde Ç1040 çeliği kullanılmıştır. Deneyler kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma oranını test sonuçlarını elde edebilmek için, her tribolojik test öncesinde, disk ve pim yüzeyleri asetonla temizlenmiş ve yüzeyleri kurutulmuştur. Her testten önce (m<sub>1</sub>) ve sonra (m<sub>2</sub>) pim ağırlıkları ölçülmüştür. Test öncesi pim ağırlığından test sonrası pim ağırlığı değeri çıkartılarak aşınma miktarı (Δ<sub>m</sub>) tespit edilmiştir ve Eşitlik 1'de verilen formül ile spesifik aşınma oranları (K<sub>o</sub>) hesaplanmıştır. K<sub>o</sub>, Spesifik aşınma oranını, (mm<sup>3</sup>/Nm), Δ<sub>m</sub>, aşınma miktarını, (g), S, kayma mesafesi, (m), ρ, test numunesinin yoğunluğu, (g/cm<sup>3</sup>), F, uygulanan kuvvet, (N) değerlerini ifade eder. Aşınma deneyleri için, çalışmada kullanılan kayma mesafesi, uygulanan yük ve kayma hızı gibi test parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

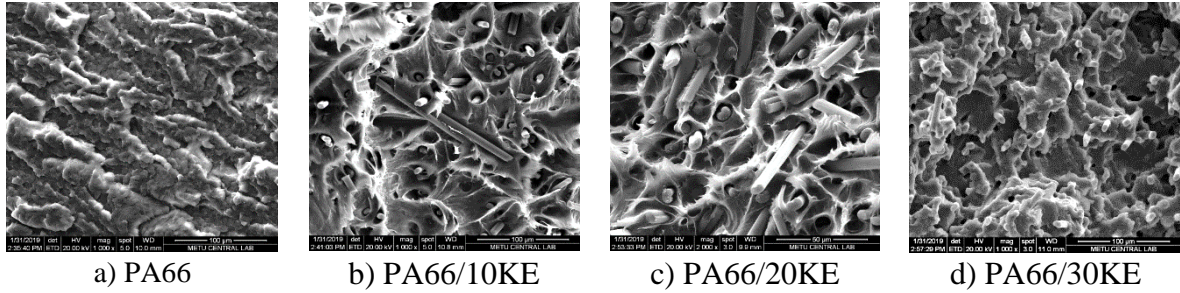
$$K_o = \frac{\Delta_m}{S \cdot \rho \cdot F} \quad (1)$$

Tablo 1. Aşınma-Sürtünme Deneyi Parametreleri

Parametreler	Değerler
Uygulanan yükler, N	20, 30 ve 40
Kayma hızları, m/s	0,4, 0,8 ve 1,2
Kayma mesafesi, m	1000

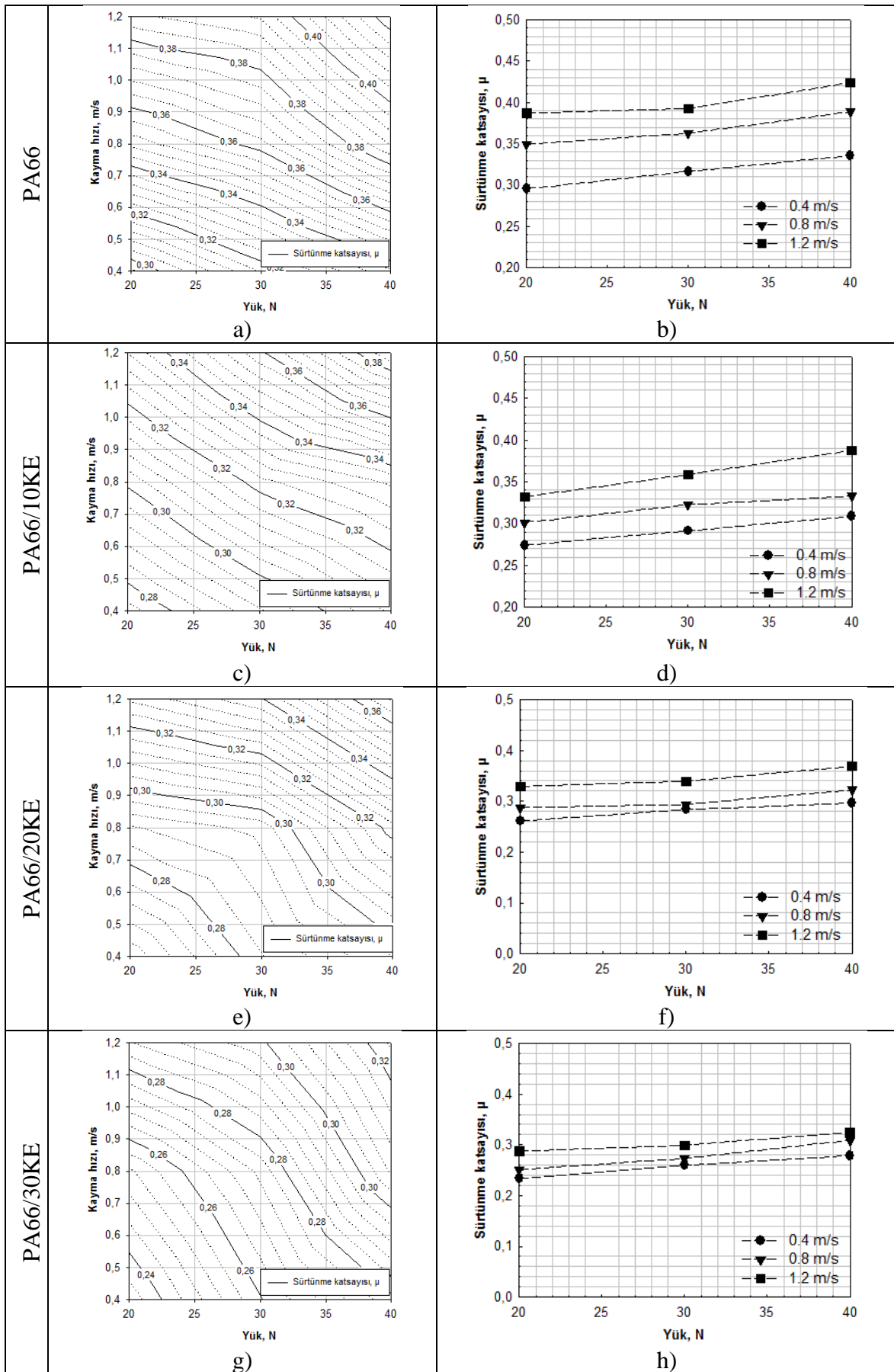
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Kırılma yüzeyi morfolojisi katkının dağılımı, kırılma mekanizması ve matris/elyaf arayüzeyi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Şekil 1–a’da katkısız PA66 polimerinin tipik kırılma yüzeyi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi son kırılmadan önce numunenin plastik deformasyona uğradığını gösteren bulut benzeri (cloud-like) çatlaklar oluşmuştur. Şekil 1 b-d’de ise PA66/KE kompozitlerinin gevrek olarak kırıldığını gösteren pürüzsüz bir yüzey yapısına sahip olduğu görülmektedir. Karbon elyafların farklı yönlerde hizalandığı ve ekstrüzyon süresince kayma kuvveti nedeniyle homojen dağıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, matristen fiberlerin sıyrıldığı da görülmektedir. Ayrıca, karbon fiberlerin matris içerisine iyi bir şekilde gömüldüğü ve matris ile fiberler arasında boşluk oluşmadığı gözlenmiştir.



Şekil 1. Katkısız PA66 ve PA66/KE Kompozitlerin Kırık Yüzey SEM Görüntüleri

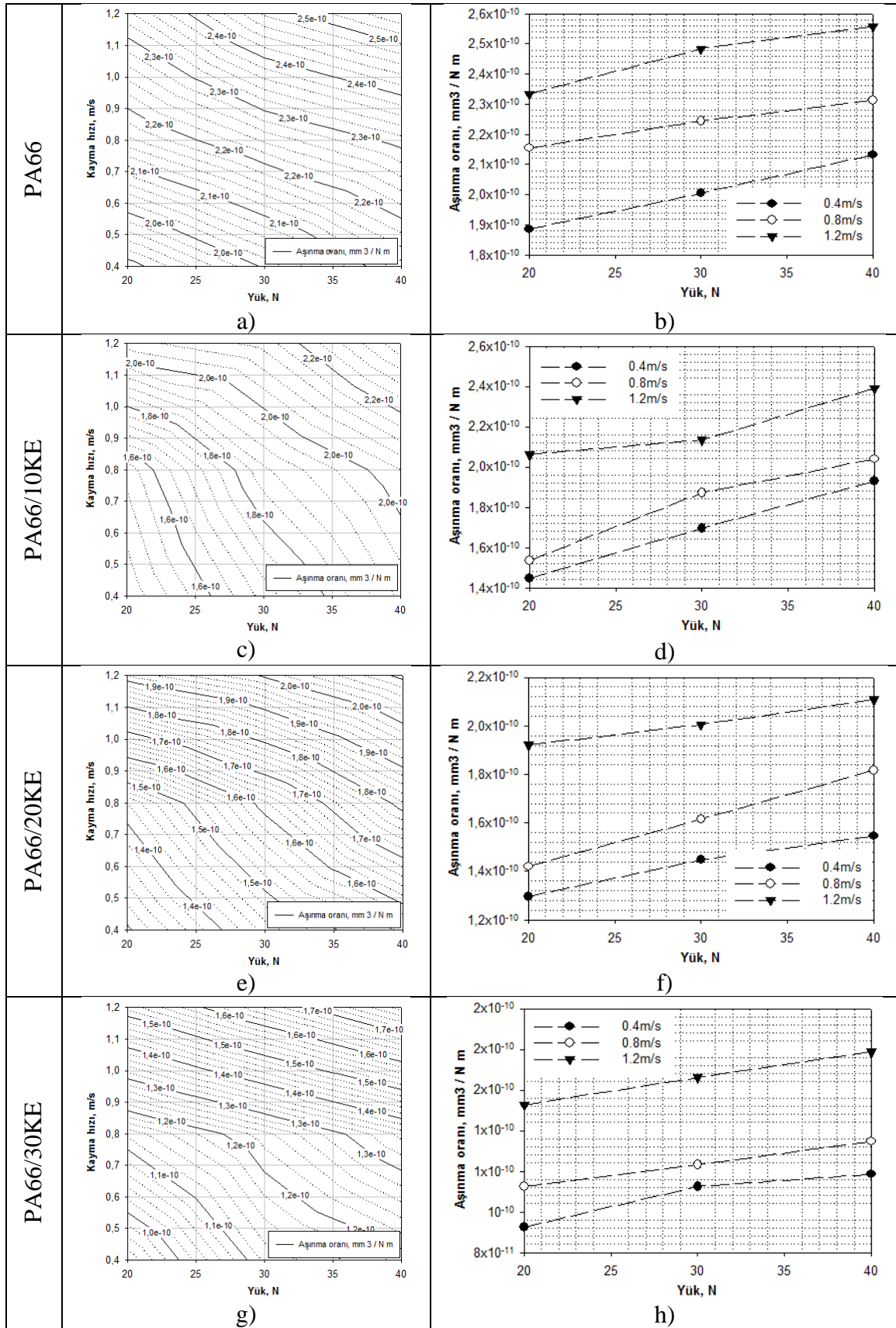
Şekil 2 (a-h)’ta katkısız PA66 polimeri ile farklı oranlarda karbon elyaf katkılı PA66 kompozitlerin uygulanan yük ve hızı ile değişen sürtünme katsayıları ve ISO diyagramları (counter) diyagramları gösterilmiştir. Şekil 2 (a,c,e,g)’de PA66 polimeri ile PA66/KE kompozitlerin hız ve yüke bağlı olarak ISO diyagramları verilmiştir. Bu diyagramlar, parametrelerin (yük, hız vb.) uygun olarak seçiminde ve aşınma oranının kontrolünde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 2. Sürtünme Katsayısı Değişimi ve ISO (Counter) Diyagramları

PA66 ve PA66/KE kompozitlerin yük ile sürtünme katsayıları arasındaki değişim incelendiğinde artan yük ile sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Katkısız PA66 polimeri değerlendirildiğinde, yükün 20N'dan 40N'a artırılması ile sürtünme katsayısı 0,4 m/s hızda %13,6, 0,8 m/s hızda %11,2 ve 1,2 m/s hızda %9,5 oranlarında arttığı belirlenmiştir. %10 KE takviyeli PA66 kompozit numunesinde ise kayma hızına bağlı olarak artan yük ile sürtünme katsayısı sırasıyla %12,6, %10,5 ve %16,6 oranlarında artmıştır. %20 KE takviyeli PA66 kompozit numunesinde ise bu artış oranları %13,3, %12,1 ve %12,1 olarak elde edilmiştir. PA66/30KE kompozitin için ise 0,4, 0,8 ve 1,2 m/s hızlarda yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı sırasıyla %19,3, %22,9 ve %12,8 oranlarında artmıştır. Sürtünme arayüzelerindeki sürtünme kaynaklı ısı bunu açıklayabilir. Ayrıca polimer malzemeler viskoelastik özelliğe sahiptir ve yük altında deformasyonu da viskoelastiktir. Bu nedenle ara yüzey sıcaklığı, malzeme gerilimine, yapışma ve transfer davranışlarına tepki olarak viskoelastik özelliği etkilemektedir. PA66 ve PA66/KE kompozitlerin hız ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki değerlendirildiğinde tüm numunelerde hızın artması ile sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. PA66 polimeri için hızın 0,4'den 1,2 m/s'ye artırılması ile 20-30-40N yük altındaki sürtünme katsayılarının sırasıyla %31,0, %24,0 ve %26,2 oranlarında arttığı belirlenmiştir. %10 KE katkılı PA66 kompozitinde, hızın 0,4'den 1,2 m/s'ye yükseltilmesi ile 20N yükte sürtünme katsayısı %21,1, 30N yük altında sürtünme katsayısı %23,1 ve 40N yük altında sürtünme katsayısı %25,4 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, PA66/20KE kompozitin uygulanan kayma hızına bağlı olarak 20-30-40N yük altında sürtünme katsayıları sırasıyla %25,8, %19,6 ve %24,5 oranlarında arttığı belirlenmiştir. PA66/30KE kompozitin için ise bu oranlar %23,2, %15,0 ve %16,5 olarak elde edilmiştir. Takeshi ve arkadaşları (2021) yaptıkları çalışmada, cam elyaf katkılı kompozitlerin karbon elyaf katkılı kompozitlere göre sürtünme katsayısının %19,4 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek sürtünme katsayısının kayma esnasında ısı ürettiği ve sıcaklığın artmasına neden olduğu dolayısıyla plastik deformasyonun arttığını belirtmişlerdir. Kumar ve Panneerselvam (2018) ise yaptıkları çalışma artan kayma hızı ve yük miktarları ile numunenin yüzey sıcaklığının değişmesi nedeniyle sürtünme katsayısının azaldığını belirtmişlerdir. İbrahim ve arkadaşları (2021) artan sürtünme katsayısının, artan katkı miktarı ile zayıflayan polimer zincirleri nedeniyle olabileceğini belirtmişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, yük ve hız aralıklarında sürtünme katsayısı üzerine en etkili parametrenin kayma hızı olduğu belirlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı 1,2 m/s hız ve 40N yükte PA66 polimerinde elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı 0,4 m/s hız ve 20N yükte %30 KE katkılı PA66 kompozitinde elde edilmiştir.

Şekil 3 (a-h)'ta PA66 polimeri ile %10, %20 ve %30 oranlarında karbon elyaf katkılı PA66 kompozitlerin yük ve hız ile aşınma oranları değişimi ve ISO diyagramları (counter) diyagramları verilmiştir. Genel olarak, PA66 ve PA66/10KE, PA66/20KE ve PA66/30KE kompozitlerin aşınma oranları  $10^{-10}$  mm<sup>3</sup>/Nm olarak elde edilmiştir. Yükün 20N'dan 40N'a yükseltilmesi ile aşınma oranları artmıştır. Bu artış PA66 polimeri için 0,4, 0,8 ve 1,2 m/s kayma hızlarında sırasıyla %13,0, %7,2 ve %9,6 oranlarında elde edilmiştir. %10 KE takviyeli PA66 kompozit numunesinde ise kayma hızına bağlı olarak yükün artması ile aşınma oranı değerleri sırasıyla %33,3, %32,8 ve %15,9 oranlarında artmıştır. %20 KE takviyeli PA66 kompozit numunesinde ise bu artış oranları %19,3, %27,9 ve %9,7 olarak elde edilmiştir. PA66/30KE kompozitin için ise 0,4, 0,8 ve 1,2 m/s kayma hızlarında yükün 20N'dan 40N'a artırılması ile aşınma oranları sırasıyla %28,2, %19,6 ve %17,1 oranlarında artmıştır.



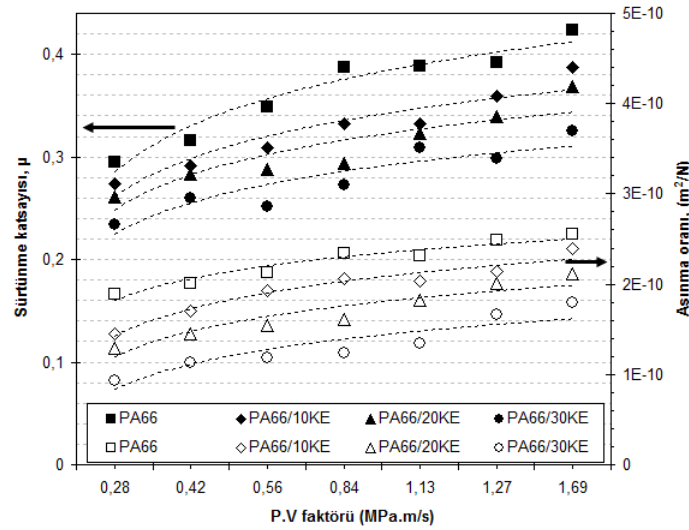
Şekil 3. Aşınma Oranı Değişimi ve ISO (Counter) Diyagramları

Autay ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek yüklerde aşınma oranının %10 fiber içeriğinde 6 kat, %20 fiber içeriğinde 9 kat ve %30 fiber içeriğinde 12 kat arttığı belirtilmiştir. Uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranının arttığı

Ünal ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Aşınma prosesinin, kırılma, tribo-kimyasal etkiler ve plastik akış kaynaklı olduğu, ve yük değerindeki artışın matris ile fiberler arasındaki bağı zayıflamasına ve dolayısıyla kırılmaya yol açarak aşınma oranlarının artmasına sebep olduğu belirtilmiştir. PA66 ve PA66/KE kompozitlerin kayma hızı ile aşınma oranlarındaki değişim incelendiğinde tüm numunelerde hızın artması ile aşınma oranlarının arttığı belirlenmiştir. Katkisiz PA66 polimeri için hızın 0,4'ten 1,2 m/s'ye artırılması ile 20, 30 ve 40N yük altındaki aşınma oranları sırasıyla %23,8, %23,9 ve %20,0 oranlarında arttığı belirlenmiştir. %10 KE katkılı PA66 kompozitinde, hızın 0,4'ten 1,2 m/s'ye artırılması ile 20N yük altında aşınma oranı %42,4, 30N yük altında aşınma oranı %25,8 ve 40N yük altında aşınma oranı %23,8 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, PA66/20KE kompozitin uygulanan kayma hızına bağlı olarak 20, 30 ve 40N yük altında aşınma oranları sırasıyla %48,3, %38,4 ve %36,4 oranlarında arttığı belirlenmiştir. PA66/30KE kompozitin için ise aşınma oranlarındaki değişim %65,2, %47,6 ve %50,8 olarak elde edilmiştir. Kumar ve Panneerselvam (2018) uygulanan yük ve kayma hızının artması ile temas bölgesindeki artan ısı ve dolayısıyla artan sıcaklık nedeniyle spesifik aşınma oranının arttığını belirtmişlerdir. Yapılan diğer bir çalışmada ise arayüzeyde kesme kuvvetindeki artış nedeni ile aşınma hacmi kaybının arttığı belirtilmiştir (Chen ve ark., 2006). Uygulanan hızın artması ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranındaki artışın, yüzey sıcaklığının artması ve yüzey tabakası sıcaklığının polimerin yumuşama sıcaklığına ulaşarak aşınma oranının artmasına sebep olduğu bilinmektedir.

Şekil 4'te PA66 polimeri ile karbon elyaf katkılı PA66 kompozitlerinin aşınma oranı ve sürtünme katsayısı üzerine yük ve hızın etkisini gösteren P.V faktörü grafiği verilmiştir. P.V faktörü, Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır (Abdelbary, 2015).

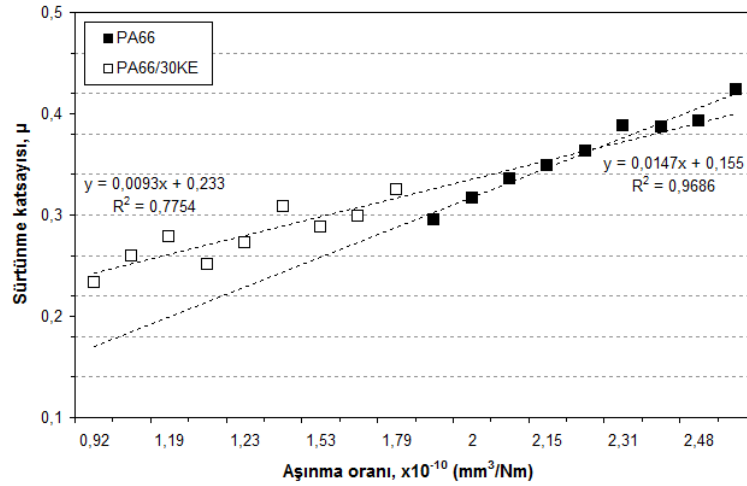
$$P.V \text{ faktörü} = \frac{\text{yük} \times \text{hız}}{\text{pim alanı}} \quad (2)$$



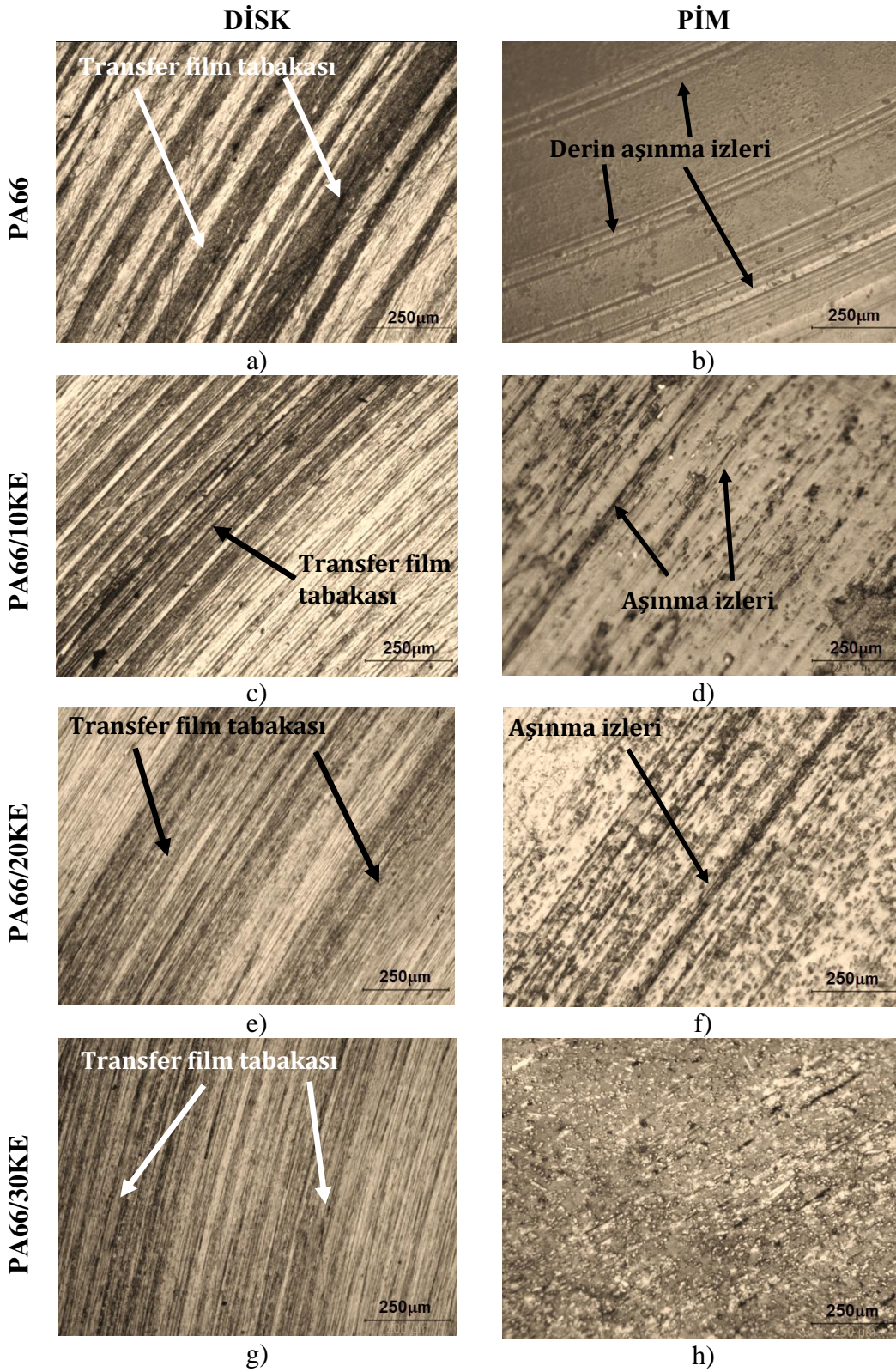
Şekil 4. P.V Faktörüne Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Oranı Değişimi

Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı uygulanan kayma hızı ve yükten etkilenmiştir. P.V faktörünün artması ile aşınma oranının ve sürtünme katsayısının da yükseldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, aşınma oranının ve sürtünme katsayısının karbon elyaf oranına bağlı olarak değiştiği de belirlenmiştir. PA66 polimerine ilave edilen karbon elyaf ve artan karbon elyaf ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranı azalmıştır. 0,8 m/s hız ve 30N yükte, PA66 polimerine ilave %10 oranındaki karbon elyaf sürtünme katsayısını %12,4 oranında azaltırken %20 oranında karbon elyaf ilavesi ile sürtünme katsayısı %23,5 oranında, %30 karbon elyaf ilavesi ile sürtünme katsayısı %32,7 oranında azalmıştır. Benzer şekilde, 0,8 m/s hız ve 30N yükte aşınma oranları

incelendiğinde, PA66 polimerine ilave edilen %10, %20 ve %30 oranlarındaki karbon elyaf aşınma oranlarını %19,9, %38,9 ve %82,0 olacak şekilde azaltmıştır. Shaofeng ve arkadaşları (2012) karbon fiber katkılı PA6/PPS karışımında, karbon fiberin transfer film tabakası oluşturarak sürtünme katsayısının azalmasında önemli olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda, karışıma ilave edilen karbon fiberin dayanımı ve rijitliği artırdığı belirtilmiştir. Dolayısıyla yumuşak bir polimer matriste sert bir faz olan karbon fiberin bulunması belirli yükler altında gerçek temas alanını azaltarak yapışma kuvveti ve pulluklanma etkisini azaltabileceği belirtilmiştir (Suresha ve ark., 2007). Kumar ve Panneerselvam (2018) ise fiber miktarının artması ile sertlik, çekme dayanımı ve termal iletkenliğin arttığını ve dolayısıyla aşınma direncinin geliştiğini belirtmişlerdir. Genellikle, karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin aşınma direnci iki farklı yaklaşım ile değerlendirilmektedir. Bunlardan birincisi, artan karbon fiber miktarı ile yumuşak matris ile sert çelik yüzeyi arasındaki gerçek temas alanı azalarak aşınma direnci azalmaktadır (Tanaka, 1997). Diğeri ise karbon fiber incebilir, çatlayabilir ve hatta matristen dışarı çıkabilir ve çıkan bazı CF partikülleri üçüncü bir abrasif aşındırıcı gibi davranarak aşınma direncinin kötüleşmesine sebep olabilmektedir (Suresha ve ark., 2007). Bu çalışmada, PA66/KE kompozitlerinde PA66 polimerine göre daha düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Katkısız PA66 polimeri ile %30 KE katkılı PA66 kompozitin sürtünme katsayısı-aşınma oranı arasındaki ilişki ise Şekil 5'te verilmiştir. PA66 polimeri ve PA66/30KE kompoziti için aşınma oranı ve sürtünme katsayısı arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Bu doğrusallık PA66 polimeri için korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0,9686, PA66/30KE kompozitin için ise 0,775 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Katkısız PA66 Polimeri ile %30 KE Katkılı PA66 Kompozitin Sürtünme Katsayısı-Aşınma Oranı Değişimi



Şekil 6. Aşınma Sonrası Elde Edilen Disk ve Pim Yüzeylerine Ait Optik Mikroskop Fotoğrafları

Şekil 6 (a-h)'da, triboloji testleri sonrasında PA66 polimeri ile PA66/KE kompozitlerinin disk ve pim yüzeylerine ait optik mikroskop fotoğrafları gösterilmiştir. Polimerin kuru koşullar altında aşınma modu, öncelikle adhezif aşınma olarak açıklanır ve polimerin sürtünme katsayısı ve aşınma davranışı, metalik yüzey üzerinde bir transfer filminin oluşumundan güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Bu transfer filmi, polimer ile metalik yüzey arasındaki yapışmayı önlemekte ve metalik pürüzlerin yumuşak polimer yüzeyi üzerindeki sürtünme etkisini azaltmaktadır (Suresha



ve ark., 2010). Disk fotoğraflarında görüldüğü gibi numunelerin yüzeylerinde transfer film tabakasının (TFT) oluştuğu gözlenmiştir. Ancak katkısız PA66 polimeri ile düşük karbon fiber katkılı PA66 kompozitlerde, kayma yönünde, kayış-benzeri (belt-like) ve üniform olmayan transfer film tabakası oluştuğu gözlenmiştir. PA66/30KE kompozitinde ise üniform dağılmış ve sürekli bir TFT oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan bu TFT ve bu tabakanın yoğunluğu PA66 kompozitlerinin aşınma ve sürtünme davranışlarını etkilemiştir (Kumar & Panneerselvam, 2018). Gao ve arkadaşları da (2018) aşınma kalıntılarını uzaklaştırdığı ve sürtünme ısısını absorbe ettiği için yağlayıcı varlığının tribolojik özellikleri etkilediğini belirtmişlerdir. Pim fotoğrafları incelendiğinde ise katkısız PA66 polimerinin yüzeylerinde derin ve geniş oyuklar gözlenmiştir. Yüksek abrasif şartlar altında aşınma kalıntılarının metal yüzeye yapışma azalmaktadır (Şekil 6-a). Metal karşı yüzeyindeki daha büyük pürüzler, polimer yüzeyini deforme ederek abrasif aşınma mekanizmasının meydana geldiğini gösteren pulluk ve mikro-kesmeye neden olarak derin aşınma izlerinin oluşmasına sebep olmuştur (Şekil 6-b). PA66 polimerine ilave edilen KE ile oyukların sayısı ve etkisi azalmış, daha yumuşak bir yüzey elde edilmiştir (Şekil 6 d-f-h). Grafitleştirilen karbon fiberin yağlayıcılık özelliğinin polimer kompozitin çelik diske teması esnasında sürtünme katsayısının azalmasında etkili olduğu bilinmektedir. Karbon fiber çok iyi yağlayıcılık özelliğine sahip grafit kristallerine ayrışabilmektedir. Grafit kalıntıları (debris) karşı disk yüzeyinde ince bir film tabakası oluşturarak aşınma sürecini önemli oranda azaltacaktır. Li ve arkadaşları (2013) KE ilaveli PA6 kompozitin, PA6 polimeri ile cam elyaf ilaveli PA6 kompozite göre daha düzgün bir yüzeye sahip olduğunu belirtmişlerdir. KE katkının yoğunluğunun düşük olması nedeni ile elyafların kolay bir şekilde bağlandığı ve mükemmel bir termal iletken zincir oluşturdukları belirtilmiştir. Karbon fiberin üstün yağlayıcılık özelliği nedeniyle katkısız PA6 polimerinin abrasif aşınma mekanizması adhesif aşınma mekanizmasına dönüşmüştür. Bu durum PA6/30KE kompozit numunesinde elde edilen yumuşak yüzey görüntüsünden de anlaşılmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Katkısız PA66 polimeri ile farklı oranlarında karbon fiber ilaveli PA66 kompozitlerin uygulanan yük ve kayma hızlarına bağlı olarak aşınma ve sürtünme davranışlarının araştırıldığı çalışma ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranının kayma hızı ve yüke bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Kayma hızı, aşınma ve sürtünme davranışını etkileyen en önemli parametre olmuştur. PA66 polimerine ilave edilen %10, %20 ve %30 oranlarındaki karbon fiber aşınma oranlarını sırasıyla %19,9, %38,9 ve %82,0 oranında azaltmıştır. Artan P.V faktörü ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranı artmıştır. PA66 polimeri ve PA66/KE kompozitleri için aşınma oranının artması sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Karbon fiberin yağlayıcılık özelliği nedeniyle oluşan transfer film tabakası tribolojik davranışların şekillenmesinde önemli rol oynamıştır. Abrasif aşınma mekanizması transfer film tabakası nedeniyle adhesif aşınma mekanizmasına dönüşmüştür. %30 karbon elyaf katkılı PA66 kompozitin düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci ile tribolojik uygulamalar için alternatif bir malzeme olabileceği belirlenmiştir.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## KAYNAKÇA

- Abdelbary, A. (2015). Wear of polymers and composites. *Elsevier Ltd.*
- Autay R., Missaoui, S., Mars, J. & Dammak, F. (2019). Mechanical and tribological study of short glass fiber-reinforced PA 66. *Polymers and Polymer Composites*, 27(9), 587–596.
- Baker, D.A. & Rials, T.G. (2013). Recent advances in low-cost carbon fiber manufacture from lignin. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(2), 713–728.
- Byett, J.H. & Allen, C. (1992). Dry sliding wear behavior of polyamide 66 and polycarbonate composites. *Tribology International*, 25, 237–246.
- Cai, Z. & Wenxia, W. (2011). Friction and wear properties of polyamide 66 composites filled with carbon fiber under dry sliding and oil lubricated condition. *Applied Mechanics and Materials*, 148-149, 612-615.
- Chang, L., Zhang, Z., Zhang, H. & Schlarb, A.K. (2006). On the sliding wear of nanoparticle filled polyamide 66 composites. *Composites Science and Technology*, 66, 3188–3198.
- Chen, Z., Liu, X., Lu, R. & Li, T. (2006). Mechanical and tribological properties of PA66/PPS blend – III reinforced with glass fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 523-529.
- Chukov, D.I., Stepashkin, A.A., Maksimkin, A.V., Tcherdyntsev, V.V., Kaloshkin, S.D., Kuskov, K.V. & Bugakov, V.I. (2015). Investigation of structure, mechanical and tribological properties of short carbon fiber reinforced UHMWPE-Matrix composites. *Composites Part B*, 76, 79-88.
- Essabir, H., Denis, R., Rachid, B. & Abou, K.Q. (2018). Effect of nylon 6 (PA6) addition on the properties glass fiber reinforced Acrylonitrile-Butadiene-Styrene. *Polymer Composites*, 14-21.
- Gao, C., Fan, S., Zhang, S., Zhang, P. & Wang, Q. (2018). Enhancement of tribofilm formation from water lubricated PEEK composites by copper nanowires. *Applied Surface Science*, 444, 364–376.
- Harrass, M., Friedrich, K. & Almajid, A.A. (2010). Tribological behavior of selected engineering polymers under rolling contact. *Tribology International*, 43, 635–646.
- Ibrahim, G., Tayfun, U. & Atila, G.Ç. (2021). Tribological Properties of Fly Ash Blended Polymer Composites. *Materia*, 26(1), 12929.
- Karabulut, F.Y. & Helvacı, C. (2017). Büyük şehirlerde ulaşım sistemleri ve sorunları: İzmir ili özelindeki sorunlara çözüm önerileri, *TMMOB Şehir Plancıları Odası*, 215-221.
- Kausar, A. (2019). Advances in carbon fiber reinforced polyamide-based composite materials. *Advances in Materials Science*, 19(4), 62.
- Kim, J.W., Jang, H. & Kim, J.W.O. (2014). Friction and wear of monolithic and glass-fiber reinforced PA66 in humid conditions. *Wear*, 309, 82–88.
- Kukureka, S.N., Hooke, C.J., Rao, M., Liao, P. & Chen, Y.K. (1992). The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling-sliding contact. *Tribology International*, 32, 107-116.

- Kumar, S. & Panneerselvam, K. (2018). Investigation on dry sliding wear behaviour of nylon-6 and GFR nylon-6 composites using Taguchi technique. *Indian Journal of Engineering and Materials Science*, 25, 89-97.
- Takeshi, K., Yasuharu, N., Gaetan, B., Jean-Christophe, A., Vincent, F. & Philippe, K. (2021). Comparison of the tribological properties of carbon/glass fiber reinforced PA66-based composites in contact with steel, with and without grease lubrication. *Wear*, 477, 203899.
- Kunishima, T., Nagai, Y., Kurokawa, T., Bouvard, G., Abry, J.-C., Fridrici, V. & Kapsa, P. (2020a). Tribological behavior of glass fiber reinforced-PA66 in contact with carbon steel under high contact pressure, sliding and grease lubricated conditions. *Wear*, 456–457, 203383.
- Kunishima, T., Nagai, Y., Nagai, S., Kurokawa, T., Bouvard, G., Abry, J.-C., Fridrici, V. & Kapsa, P. (2020b). Effects of glass fiber properties and polymer molecular mass on the mechanical and tribological properties of a polyamide-66-based composite in contact with carbon steel under grease lubrication. *Wear*, 462–463, 203500.
- Kunishima, T., Kurokawa, T., Arai, H., Fridrici, V. & Kapsa, P. (2020c). Reactive extrusion mechanism, mechanical and tribological behavior of fiber reinforced polyamide 66 with added carbodiimide. *Materials and Design*, 188, 108447.
- Li, M., Wan, Y., Gao, Z., Xiong, G., Wang, X., Wan, C. & Luo, H. (2013). Preparation and properties of Polyamide 6 thermal conductive composites reinforced with fibers. *Materials and Design*, 51, 257–261.
- Lingesh, B.V., Rudresh, B.M. & Ravikumar, B.N. (2014). Effect of short glass fibers on mechanical properties of Polyamide66 and Polypropylene (PA66/PP) thermoplastic blend composites. *Procedia Materials Science*, 5, 1231-1240.
- Luo, W., Qi, L., Yi, L., Shengtai, Z., Huawei, Z. & Mei, L. (2016). Enhanced mechanical and tribological properties in Polyphenylene Sulfide/Polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber. *Composites Part B*, 91, 579-588.
- Niyaraki, M.N., Famaraz, A.G., Ismail, G., & Sajjad, D. (2021). Predicting of impact strength and elastic modulus of polypropylene/EPDM/graphene/glass fiber nanocomposites by response surface methodology. *Technical Journal*, 15(2), 169-177.
- Nuruzzaman, D.M., Iqbal Asif, A.K.M., Oumer, A.N., Ismail, N.M. & Basri, S. (2016). Experimental investigation on the mechanical properties of glass fiber reinforced nylon. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 114, 012118.
- Raajeshkrishna, C.R., Pradeep, A.S. & Rishi Kumar, R.D. (2019). Influence of fiber content on mechanical, tribological properties of short basalt fiber-reinforced nylon 6 and polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(6), 1-19.
- Sarita, B. & Senthivelan, S. (2019). Effects of lubricant on the surface durability of an injection molded polyamide 66 spur gear paired with a steel gear. *Tribology International*, 137, 193–211.
- Shaofeng, Z., Chaoqun, W., Lianhui, C. & Qiaoxin, Z. (2012). Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of PA6/PPS composites. *Advanced Materials Research*, 476-478, 2323-2327.

- Shelke, S.D. & Pawar, D.S. (2017). Tribological behavior of Polyamide 66 blend with CF & PTFE. *International Journal for Scientific Research & Development*, 5(5), 237-242.
- Srinath, G. & Gnanamoorthy, R. (2005). Effect of short fiber reinforcement on the friction and wear behavior of nylon 66. *Applied Composite Materials*, 12, 369–383.
- Suresha, B., Chandramohan, G., Samapthkumaran, P. & Seetharamu, S. (2007). Three-body abrasive wear behaviour of carbon and glass fiber reinforced epoxy composites. *Materials Science and Engineering: A*, 443(1), 285-291.
- Suresha, B., Kumar, K.S., Seetharamu, S. & Kumaran, P.S. (2010). Friction and dry sliding wear behavior of carbon and glass fabric reinforced vinyl ester composites. *Tribology International*, 43, 602–609.
- Tanaka, K. (1997). Friction and wear of glass and carbon fiber-filled thermoplastic polymers. *Journal of Tribology*, 99(4), 408-414.
- Tavcar, J., Grkman, G. & Duhovnik, J. (2018). Accelerated lifetime testing of reinforced polymer gears. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 12, 1–13.
- Tewari, U.S., Bijwe, J., Mathur, J.N. & Sharma, I. (1992). Studies on abrasive wear of carbon fibre (short) reinforced polyamide composites. *Tribology International*, 25, 53–60.
- Wenhu, Z., Sier, D., Guoding, C. & Yongcun, C. (2017). Impact of lubricant traction coefficient on cage's dynamic characteristics in high-speed angular contact ball bearing. *Chinese Journal of Aeronautics*. 30,–835.
- Zhang, Y., Pursell, C., Mao, K. & Leigh, S. (2020). A physical investigation of wear and thermal characteristics of 3D printed nylon spur gears. *Tribology International*, 141, 105953.
- Zhaobin, C., Xujun, L., Renguo, L. & Tongsheng, L. (2006). Mechanical and tribological properties of PA66/PPS blend. III. Reinforced with GF. *Journal of Applied Polymer Science*, 102, 523–529.
- Zhou, S., Qiaoxin, Z., Chaoqun, W. & Jin, H. (2013). Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of Polyamide6/Polyphenylene Sulfide composites. *Materials and Design*, 44, 493–499.



*Research Article / Araştırma Makalesi*

## A COMPARISON OF STATISTICAL DISTRIBUTIONS FOR THE CRUDE BIRTH RATE DATA

DOĞUM ORANININ MODELLENMESİ İÇİN İSTATİSTİKSEL DAĞILIMLARIN  
KARŞILAŞTIRILMASI

Ceren ÜNAL<sup>1</sup>

Gamze ÖZEL<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1277633>

*Corresponding Author / Sorumlu Yazar*  
cerenunal@hacettepe.edu.tr

*Received / Geliş Tarihi*  
05.04.2023

*Accepted / Kabul Tarihi*  
03.08.2023

### Abstract

Population statistics and demographic are important indicators to show the country's quality of life, social and health, the status of the population, the change in the population structure, and its effect on economic life. In demography, the crude birth rate is used to measure the growth of a population. In this study, we perform the crude birth rate values by statistical regions in Türkiye with some statistical distributions. When the results are compared, the Gumbel distribution provides the best fit to model the crude birth rate values than Normal, Log-Normal, Exponential, Gamma, and Weibull distributions. Among compared distributions, the Gumbel model is the best model to present the CBR data since log likelihood (logL), Akaike information criteria (AIC) and Bayesian information criteria (BIC) values of the Gumbel distribution are the lowest among all models. In addition, the results with the compared distributions are supported by graphs.

**Keywords:** Crude birth rate, extreme value distributions, Gumbel distribution, population estimates, Turkish population.

### Öz

Nüfus istatistikleri ve demografi, ülkenin yaşam kalitesini, sosyal ve sağlık durumunu, nüfusun durumunu, nüfus yapısındaki değişimi ve bunun ekonomik hayata etkisini gösteren önemli göstergelerdir. Demografide, bir nüfusun büyümesini ölçmek için kaba doğum hızı kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki istatistiksel bölge sınıflandırmalarına göre kaba doğum hızı değerlerinin istatistiksel dağılımlara uyumu araştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, Türkiye'de kaba doğum hızı değerlerini modellemek için Normal, Log-Normal, Exponential, Gamma ve Weibull dağılımlarına göre en iyi uyumu Gumbel dağılımı sağlamaktadır. Karşılaştırılan dağılımlar arasında, Gumbel dağılımının log olabilirlik (logL), Akaike bilgi kriterleri (AIC) ve Bayes bilgi kriterleri (BIC) değerleri tüm modeller arasında en düşük olduğundan, CBR verilerini en iyi sunan model Gumbel modelidir. Ayrıca, karşılaştırılan dağılımlar ile sonuçlar grafiklerle desteklenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Gumbel dağılımı, kaba doğum hızı, nüfus tahminleri, Türkiye nüfusu, uç değer dağılımları.

<sup>1</sup>Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Statistics, Ankara, Türkiye.  
cerenunal@hacettepe.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9357-1771.

<sup>2</sup>Hacettepe University, Faculty of Science, Department of Statistics, Ankara, Türkiye.  
gamzeozl@hacettepe.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3886-3074.

## 1. INTRODUCTION

The birth rate represents the development of the population in demography. It is used to determine the nature of the mass of the population, age, and gender distribution. Demographers use various indicators to measure the birth rate, one of which is the crude birth rate (CBR), which represents the number of live births per one thousand individuals within a population (Hamilton et al., 2009). A CBR of more than 30 per 1000 is considered high, while a rate of less than 18 per 1000 is considered low. India has the highest CBR in the world, with a CBR of 13.496,25 births per thousand individuals, accounting for 16,71% of the world's CBR as of 2020. The top five countries, including Nigeria, China, Pakistan, and Ethiopia, accounting for 38,57% of the world's CBR. The global CBR was estimated to be 80.754,21 births per thousand individuals in 2020.

The CBR is gradually decreasing in Türkiye. The social and social environment in which Türkiye is located economic transformation and human capital investments affect people's fertility tendencies. It is possible to classify the factors affecting fertility as biological, social, and economic. In 2001, while the CBR in Türkiye was 20,3 per thousand, it became 13,3 per thousand in 2020. In other words, there were 20,3 births per thousand population in 2001 and 13,3 births in 2020. This indicates that the CBR has decreased from 20,3 to 12,8 per thousand population over two decades from 2001 to 2021 (TurkStat, 2022a).

Demographic models aim to present demographic processes through mathematical functions that relate measurable demographic variables. The main goal of modeling is to simplify complex numerical data into a few easily understood basic parameters or to provide an approximate representation of reality without its intricacies (Abd Ellatif, 2017). Deterministic models are frequently used to describe the population size dynamics during growth (Hannon, 1997; Brauer and Castillo-Chavez, 2013; Anderson, 2014). These models typically describe population size as a continuous variable, and its temporal dynamics are governed by an ordinary differential equation. However, many of these models are nonlinear, making analytical progress challenging and sometimes limited (Tsoularis & Wallace, 2002; Marrec et al., 2022).

The logistic differential equation was originally developed to account for the self-regulating nature of population growth and to amend the Malthusian exponential growth model. Nevertheless, relying solely on deterministic models to make predictions can lead to inaccurate estimation of important parameters. It is essential to recognize instances when a deterministic equation fails to accurately depict the average dynamics of stochastic population growth and to comprehend the underlying causes for such discrepancies (Marrec et al., 2022).

In this work, we perform and compare the results of some statistical distributions to model the CBR values by statistical regions in Türkiye. As far as we know, these distributions have not been used to model the CBR values in Türkiye before. The data set used in the study was taken from the statistical data portal of TurkStat (2022b). It includes CBR data information between 2015-2020 years by statistical regions for Turkey.

The paper is organized as follows: In Section 2, we give the methodology of the study by explaining statistical distributions. The data set is described in Section 3 and the results are compared in Section 4. The concluding remarks are presented in Section 5.

## 2. METHODOLOGY

A probability distribution describes the values and probabilities for a random event to occur. Normal distribution, Log-normal distribution, exponential distribution, gamma distribution, and Weibull distribution are well-known continuous distributions (Demirci Biçer & Atakan, 2012). Gamma, Weibull, and Gumbel, distributions are commonly used distributions for the analysis of skewed data. This distribution has often been caused by industrial reliability issues and human is used as a model for survival (Lee & Wang, 2003). In this study, we perform these distributions to model CBR data. Now, we explain some important statistical characteristics of these distributions.

The normal distribution is one of the most important distributions. It is also called the Gaussian distribution after the German mathematician Carl Friedrich Gauss. It fits the probability distribution of many events. For example, IQ rating, and heart rate. The normal distribution, the Gaussian distribution, or the bell-curved distribution is abundant in physical nature and is often used in practically applied statistics. The reason for this is the central limit theorem. Normal distribution not skewed is a symmetrical distribution. If a random variable  $X$  has a normal distribution with mean  $\mu$  and variance  $\sigma^2$  ( $\sigma^2 > 0$ ), then probability density function (pdf) of the form is given by

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (1)$$

Logarithmic conversion to the random variable as  $y = \ln(x)$  is applied if the distribution of the transformed variable  $Y$  is normal. The distribution of  $X$  the variable is lognormal. Unlike the normal distribution, negative values are not used in the lognormal distribution. Its distribution is used more in modelling economic data (Jafari & Abdollahnezhad, 2017). The pdf of the log-normal distribution is given by

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (2)$$

The gamma distribution is an extension of the exponential distribution, and it is a model by Brown and Flood (1947). The gamma distribution is one of the extensively used distributions for modelling skewed data in various fields such as hydrology, and finance, especially for reliability or lifetime (Basak & Balakrishnan, 2012; Hirose, 1995; Vaidyanathan & Lakshmi, 2015; Yonar & Yapıcı Pehlivan, 2022). The pdf of the gamma distribution with a shape parameter ( $\theta$ ) and scale parameter ( $\lambda$ ) is given by

$$f(x) = \frac{\lambda^\theta}{\Gamma(\theta)} x^{\theta-1} \exp(-\lambda x), \quad (3)$$

where  $x > 0, \theta > 0, \lambda > 0$  and  $\Gamma(\theta)$  is the gamma function.

The Weibull distribution was first modelled by Weibull (1951) for the modelling of material properties. It is well known that the Weibull distribution is the most popular and the most widely used distribution in reliability and in an analysis of lifetime data (Almalki & Nadarajah, 2014). The Weibull distribution is characterized by its shape parameter ( $\theta$ ) and scale parameter ( $\lambda$ ). The pdf of the Weibull distribution is given by

$$f(x) = \frac{\theta}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\theta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^\theta\right). \quad (4)$$

The Gumbel distribution is also known as the extreme value distribution of type I in the literature. The Gumbel distribution has found application in various scientific areas, including but not limited to hydrology, meteorology, climatology, insurance, finance, and geology, among numerous other fields of study (Gómez et al., 2019). The pdf of the Gumbel distribution is given by

$$f(x) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\lambda} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\lambda}\right)\right), \quad (5)$$

where  $x \geq 0$  and  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) is scale parameter.

### 3. MATERIAL

The CBR refers to the number of live births occurring in a population per thousand individuals during a particular year. It is calculated as follows:

$$\text{CBR} = (\text{B}/\text{N}) \times 1000. \quad (6)$$

This formula includes the variables B, representing the number of births, and N, representing the midyear population. The denominator in the CBR formula is typically an average population size for a given period and is often expressed as a mid-year population estimate. This estimate is calculated by taking the average of the population at the beginning and end of the period. CBR is commonly expressed as the number of live births per 1,000 population (Spoorenberg, 2015). Figure 1 shows the CBR of Türkiye between 2001 and 2022.

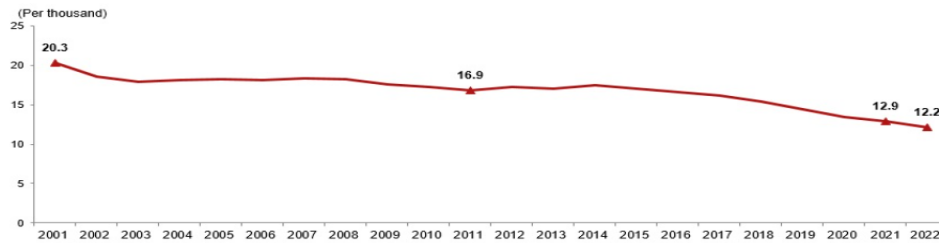


Figure 1. CBR Values of Türkiye between 2001 and 2022 (TurkStat, 2022a)

Figure 1 presents a decreasing trend seen in the CBR as a result of indicators such as the decrease in the number of births, the delayed age of marriage, and the effective use of birth control methods. Especially, it can be mentioned that there has been a continuous decrease in the CBR since 2014. In Figure 2, the first ten provinces with the highest and lowest CBR in 2022 are presented.

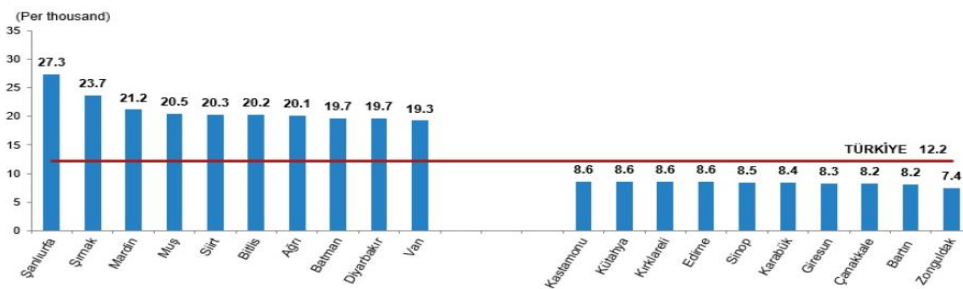


Figure 2. The First 10 Provinces with the Highest and Lowest CBR in 2022 (TurkStat, 2022a)

It is seen in Figure 2 that the province having the lowest CBR was Zonguldak with 7,4 per thousand and the highest CBR was Şanlıurfa with 27,3 per thousand. Bartın and Çanakkale with 8,2 per



thousand, Giresun with 8,3 per thousand, Karabük with 8,4 per thousand, Sinop with 8,5 per thousand and Edirne, Kırklareli, Kütahya, and Kastamonu with 8,6 per thousand followed by Zonguldak. The CBR map of Türkiye with all provinces is presented in Figure 3. When the CBRs in the provinces in Eastern and Southeastern Anatolia are examined in Figure 3, it is seen that they are higher than the Western and Central Anatolian regions.



Figure 3. Map of the CBR by Provinces of Türkiye in 2022 (TurkStat, 2022a)

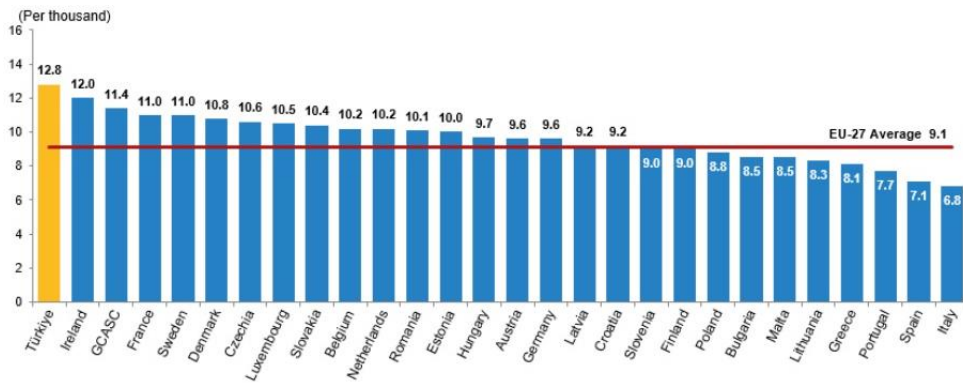


Figure 4. Comparison of the CBR with the EU Member Countries in 2021 (TurkStat, 2022a)

The CBR in Türkiye was found to be higher than that of the European Union (EU) member countries. An analysis of the CBRs of 27 EU member countries revealed that Türkiye's CBR was higher than those of all 27 countries. An analysis of the CBRs of 27 EU member countries revealed that Ireland had the highest CBR of 12,0 per thousand, while Italy had the lowest CBR of 6,8 per thousand in 2021 (The World Bank, 2022; TurkStat, 2022a).

#### 4. RESULTS

In this study, we used the CBR values by statistical regions in Türkiye, which are taken from the statistical data portal of TurkStat (2022b). In order to collect and develop regional statistics, make socioeconomic analyzes of the regions, determine the framework of regional policies, and create a comparable statistical database in accordance with the European Union Regional Statistical System, the data and information produced are presented within the scope of the Classification of Statistical Regional Units 1st Level, 2nd Level, and 3rd Level. Level 2 Statistical Regions are constituted as 26 regions which are defined by “Level 3” Statistical Region Units grouped according to the neighboring provinces. Level 2 regions were used among these levels in this study. Since the data set is statistical regions based data, it consists of CBR values per thousand between 2015-2020 years. Descriptive statistics of the CBR data set are given in Table 1.

Table 1. Descriptive Statistics of the CBR Values (Per Thousand) by Statistical Regions in Türkiye

Min.	Q <sub>1</sub>	Median	Mean	Q <sub>3</sub>	Max	Variance	St. Dev.
8,7	12,2	14,1	15,6	16,9	30,3	25,1	5,01

When Table 1 was examined, it was concluded that the lowest CBR value was 8,7 and the highest CBR value was 30,3. In addition, it is determined that the average CBR value was 15,6 and the variance value was 25,05. When the quantile values are examined, it can be said that 25% of the CBR values are less than 12,2; 50% of the CBR values are less than 14,1, and 75% of the CBR values are less than 16,9.

Skewness of the CBR data set is obtained as  $S = 1,168 > 0$ , hence the data set is skewed to the right. Kurtosis of the CBR data is  $K = 3,517 > 3$ , the data set is leptokurtic. Leptokurtic distribution can be defined as skinny in the center, it also features a fat tail. Then, the boxplot of the CBR data set is presented in Figure 5. Figure 5 also supports the skewness and fat tails of the data set.

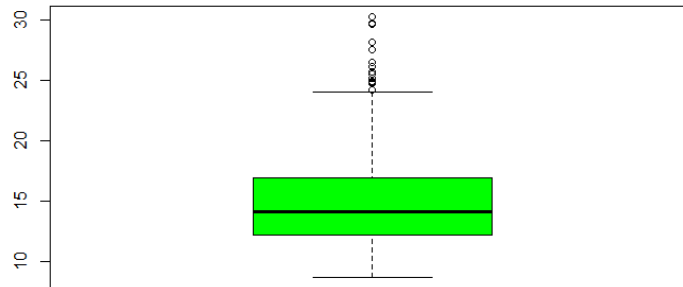


Figure 5. Box Plot of the CBR Values for Statistical Regions in Türkiye

A Histogram of the CBR data is given in Figure 6. Looking at the histogram graph in Figure 6, it is also seen that the CBR data is skewed to the right.

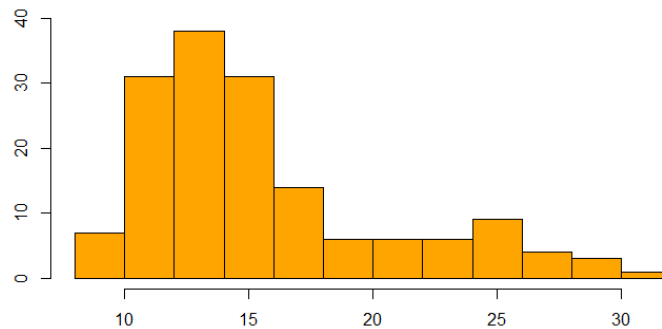


Figure 6. Histogram Graph of the CBR Values for Statistical Regions in Türkiye

In Table 2, parameter estimations of models are given with standard errors in parentheses, and model selection test results are also provided. Table 2 indicates that the Gumbel model is the best model to present the CBR data since log likelihood (logL), Akaike information criteria (AIC) and Bayesian information criteria (BIC) values of the Gumbel distribution are the lowest among all models.

Table 2. Parameter Estimations with Standard Errors in Parenthesis and Model Selection Criteria Test Results

<b>Model</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>logL</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>
Normal	15,554010 (0,3994355)	4,988948 (0,2824435)	-472,0815	948,163	954,2627
Log-normal	2,699335 (0,02332403)	0,291317 (0,01649170)	-450,0491	904,0981	910,1979
Exponential	0,0642921 (0,005146242)	-	-584,1137	1170,227	1173,277
Gamma	11,2820804 (1,25897418)	0,7253603 (0,08276918)	-455,7635	915,5271	921,6268
Weibull	3,195582 (0,1835044)	17,345840 (0,4624722)	-472,6722	949,3444	955,4441
Gumbel	13,387516 (0,2862654)	3,419526 (0,2281790)	-446,6194	897,2388	903,3386

The suitability of statistical models is based on some parametric can be analyzed by the goodness of fit tests (Oseni & Ayoola, 2013). Among tests, one-sample Kolmogorov-Smirnov test results are given in Table 3. These results also support the superiority of the Gumbel distribution. Since the p-value (0,22) is greater than 0,05, it can be said that the Gumbel distribution fits well with the CBR data.

Table 3. Results of Asymptotic One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

<b>Model</b>	<b>D</b>	<b>p-value</b>
Normal	0,16625	0,0004
Log-normal	0,10199	0,078
Exponential	0,43952	0,000
Gamma	0,12403	0,0165
Weibull	0,16608	0,0004
Gumbel	0,084089	0,22

After deciding the suitable distribution as Gumbel, we provide plots for the empirical pdf of data and theoretical pdf of Gumbel, quantile-quantile (Q-Q) plot, empirical cdf of data and theoretical cdf, and probability-probability (P-P) plot in Figure 7. Plots in Figure 7 also support the suitability of the Gumbel distribution to the data.

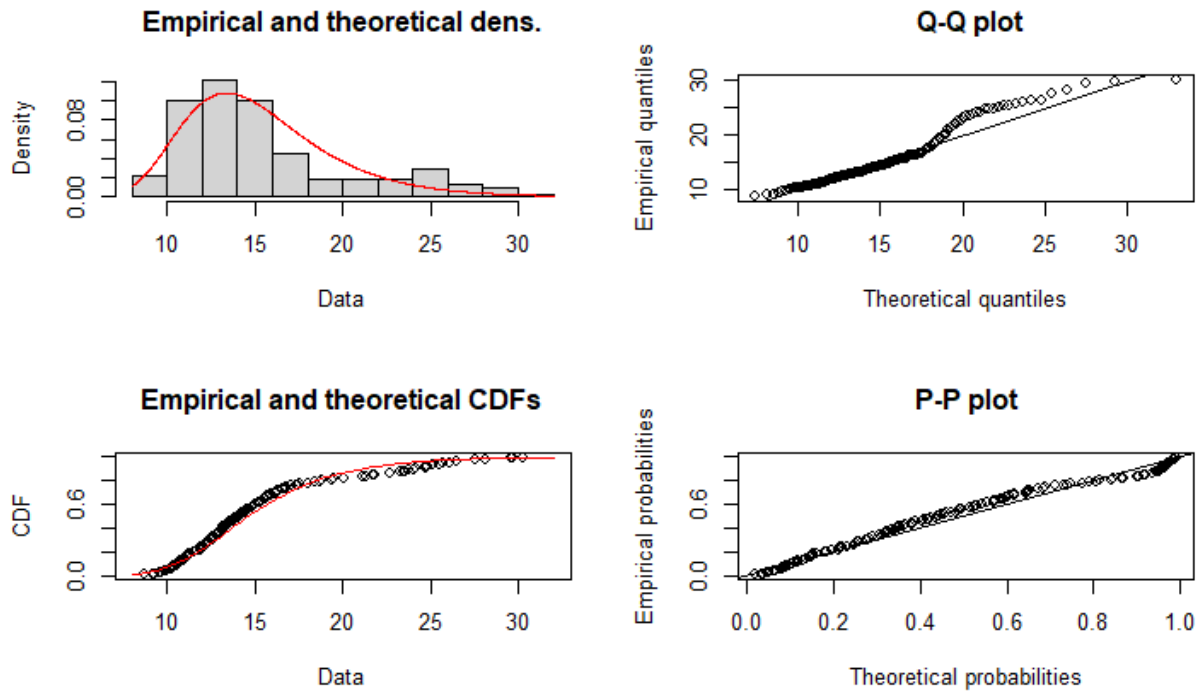


Figure 7. Plots for Q-Q, P-P, Empirical and Theoretical Pdfs and Cdf's of Gumbel Distribution

In Figure 8, histogram and theoretical densities of the competitive distribution are presented. Figure 8 shows that the Gumbel distribution is the best model among all models.

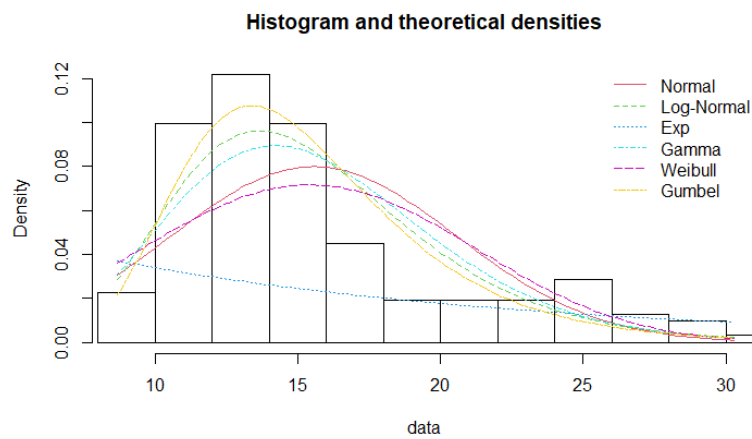


Figure 8. Comparison of Histogram and Theoretical Densities for the CBR Data

A comparison of the empirical cdf of data and theoretical cdf of the competitive distributions is presented in Figure 9. It can be seen in Figure 9 that the cdf of the Gumbel model fits the empirical cdf well.

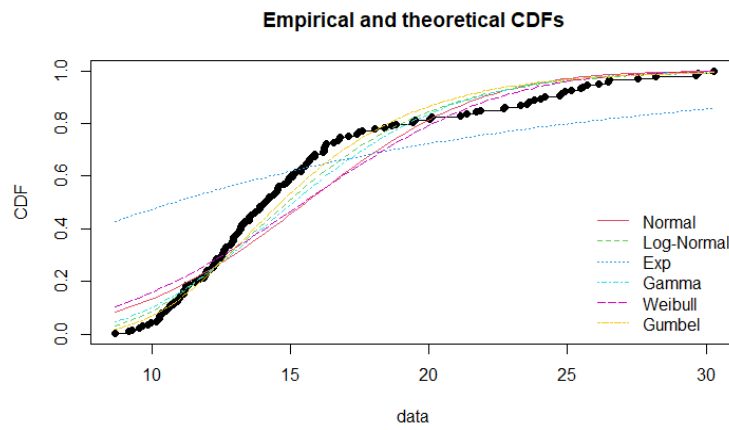


Figure 9. Comparison of Empirical and Theoretical Cdf's for the CBR Data

Figures 10 and 11 present the P-P and Q-Q plots of the alternative distributions for the CBR values, respectively. As seen in Figures 10 and 11, the Gumbel distribution fits the data well.

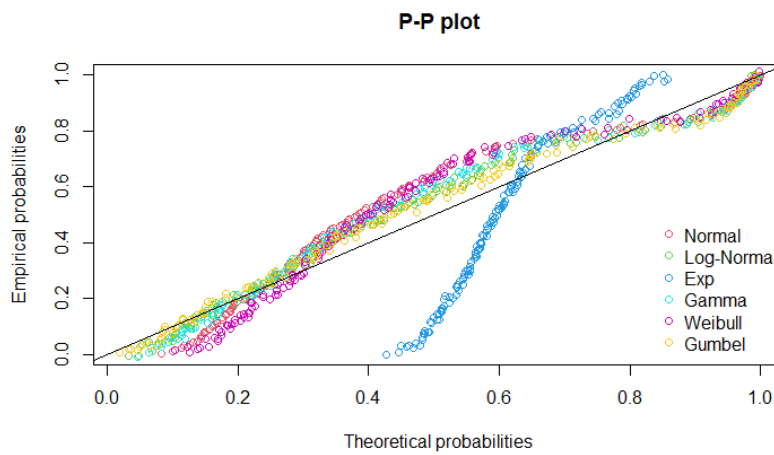


Figure 10. P-P Plot of the Alternative Distributions for the CBR Data

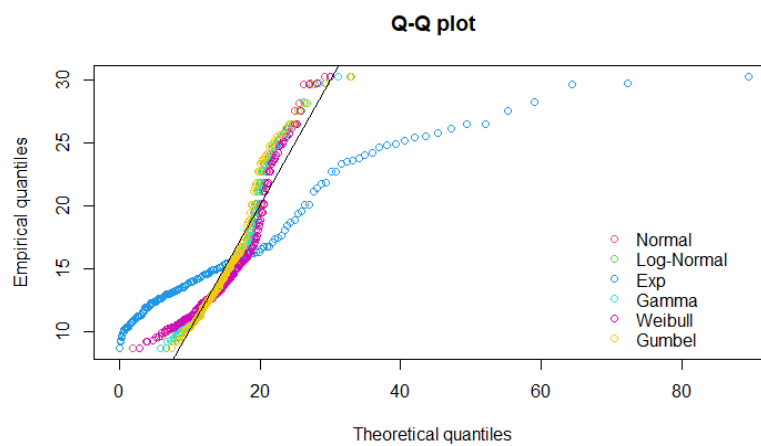


Figure 11. Q-Q Plot of the Alternative Distributions for the CBR Data

## 5. CONCLUSION

In this study, the crude birth rate values by statistical regions in Türkiye are performed with some statistical distributions. These values are taken from the statistical data portal of TurkStat and are given descriptive statistics in detail. According to the results, the Gumbel distribution provides a best fit than Normal, Log-Normal, Exponential, Gamma, and Weibull distributions to model the crude birth rate values by statistical regions in Türkiye. Because of the log-likelihood (logL), Akaike information criteria (AIC), and Bayesian information criteria (BIC) values, the Gumbel distribution is the lowest among all models. The plots for Q-Q, P-P, empirical and theoretical pdfs and cdf's of Gumbel distribution is given. In addition, the results with the compared distributions are supported by graphs.

### Contribution of The Authors

The authors confirm that they equally contributed to this paper.

### Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

### Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

## REFERENCES

- Abd Ellatif, S.M.A.E. (2017). *A comparative study to estimate and forecasting mortality using demographic and statistical models* [Ph.D. thesis]. Sudan University of Technology & Sciences, Sudan.
- Almalki, S.J. & Nadarajah, S. (2014). Modifications of the Weibull distribution: A review. *Reliability Engineering & System Safety*, 124, 32-55.
- Anderson, R.M. (2014). *The population dynamics of infectious diseases: Theory and applications*. Springer, New York.
- Basak, I. & Balakrishnan, N. (2012). Estimation for the three-parameter gamma distribution based on progressively censored data. *Statistical Methodology*, 9(3), 305-319.
- Brauer, F. & Castillo-Chavez, C. (2013). *Mathematical models in population biology and epidemiology*. Texts in applied mathematics. Springer, New York.
- Brown, G.W. & Flood, M.M. (1947). Tumbler mortality. *Journal of the American Statistical Association*. 42(240), 562-574.
- Demirci Biçer, H. & Atakan, C. (2012). Gamma, Weibull ve Log-Normal dağılımlarının doğru seçim olasılıklarına göre ayrıştırılması. *İstatistik Araştırma Dergisi*, 9(1), 11-20.
- Gómez, Y. M., Bolfarine, H. & Gómez, H. W. (2019). Gumbel distribution with heavy tails and applications to environmental data. *Mathematics and Computers in Simulation*, 157, 115-129.
- Hamilton, B.E., Martin, J.A. & Ventura, S.J. (2009). Births: Preliminary data for 2007. *National Vital Statistics Reports*, 57(12), 1-23.

- Hannon, B., Ruth, M. & Levin, S.A. (1997). Modeling dynamics biological systems. Modeling Dynamic Systems. *Springer*, New York.
- Hirose, H. (1995). Maximum likelihood parameter estimation in the three-parameter gamma distribution. *Computational Statistics & Data Analysis*, 20(4), 343-354.
- Jafari, A.A. & Abdollahnezhad, K. (2017). Testing The equality means of several log-normal distributions. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 46(3), 2311-2320.
- Lee, E.T. & Wang, J. (2003). Statistical methods for survival data analysis, 476. *John Wiley & Sons, Inc.*
- Marrec, L., Bank, C. & Bertrand, T. (2022). Solving the stochastic dynamics of population growth. *BioRxiv*. 1-15.
- Oseni, B.A. & Ayoola, F.J. (2013). Fitting the Statistical Distribution for Daily Rainfall in Ibadan, Based On Chi-Square and Kolmogorov-Smirnov Goodness-Of-Fit Tests. *West African Journal of Industrial and Academic Research*, 7(1), 93-100.
- Spoorenberg, T. (2015). Evaluation and analysis of fertility data. *Regional Workshop on the Production of Population Estimates and Demographic Indicators. Addis Ababa. United Nations, Department of Economic and Social Affairs.*
- The World Bank, (2022). Retrieved July 21, 2023 from [https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.CBRT.IN?end=2020&locations=EU&most\\_recent\\_value\\_desc=true&start=2020](https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.CBRT.IN?end=2020&locations=EU&most_recent_value_desc=true&start=2020).
- Tsoularis, A. & Wallace, J. (2002). Analysis of logistic growth models. *Mathematical Biosciences*, 179, 21– 55.
- TurkStat, Birth Statistics (2022a). Retrieved July 21, 2023 from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Birth-Statistics-2022-49673&dil=2#:~:text=Crude%20birth%20rate%20was%2012.2,12.2%20per%20thousand%20in%202022>.
- TurkStat, (2022b). Retrieved July 21, 2023 from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Birth-Statistics-2020-37229&dil=2>.
- Vaidyanathan, V. & Lakshmi, R.V. (2015). Parameter Estimation in Multivariate Gamma Distribution. *Statistics, Optimization Information Computing*, 3(2), 147-159.
- Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 9(1951), 293-297.
- Yonar, A. & Yapıcı Pehlivan, N. (2022). Evaluation and comparison of metaheuristic methods to estimate the parameters of gamma distribution. *Nicel Bilimler Dergisi*, 4(2), 96-119.



Research Article / Araştırma Makalesi

## A NEW RISK ASSESSMENT METHOD FOR AUTONOMOUS VEHICLE DRIVING SYSTEMS: FERMATEAN FUZZY AHP APPROACH

OTONOM ARAÇ SÜRÜŞ SİSTEMLERİ İÇİN YENİ BİR RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ: FERMATEAN FUZZY AHP YÖNTEMİ

Necip ŞİMŞEK<sup>1</sup>

Murat KİRİŞÇİ<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1300893>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar  
necipsimsek@hotmail.com

Received / Geliş Tarihi  
24.05.2023

Accepted / Kabul Tarihi  
29.09.2023

### Abstract

The autonomous vehicle driving systems' decision-making processes are distinct from those of the users, enabling them to supervise and control the operations of automobiles in both anticipated and unforeseen situations. Although utilizing this technology has several benefits, including fewer accidents brought on by human error and more effective energy usage, it is also clear that there are significant risks associated. Therefore, it will be useful to design a risk assessment application for these systems given the risks connected with autonomous vehicles and/or driving systems that must be assessed and addressed. This article presents a multi-criteria decision-making strategy to evaluate the risk probabilities of autonomous vehicle driving systems by combining the AHP technique with interval-valued Fermatean fuzzy sets. Interval-valued Fuzzy Fermat presents six options for autonomous driving systems for vehicles, which have been evaluated in the application based on six main criteria and fifteen sub-criteria criteria. The findings of this study have demonstrated that the threat posed by cyberattacks is being addressed and given priority to improve the success of the introduction of autonomous vehicle driving systems.

**Keywords:** AHP, autonomous vehicle driving systems, decision-making, Fermatean fuzzy environment, risk assessment.

### Öz

Otonom araç sürüş sistemlerinin karar verme süreçleri, kullanıcılarınkinden farklıdır ve hem öngörülen hem de öngörülemeyen durumlarda otomobillerin işleyişini denetleme ve kontrol etme olanağı sağlar. Bu teknolojiyi kullanmanın insan hatasından kaynaklanan daha az kaza ve daha verimli enerji kullanımı gibi bir dizi faydası olsa da, bununla ilgili önemli riskler olduğu da açıktır. Bu nedenle, değerlendirilmesi ve ele alınması gereken otonom araçlar ve/veya sürüş sistemleri ile bağlantılı riskler göz önüne alındığında, bu sistemler için bir risk değerlendirme uygulaması tasarlamak faydalı olacaktır. Bu makalede, AHP tekniğini aralık değerli Fermatean bulanık kümelerle birleştirilerek otonom araç sürüş sistemlerinin risk olasılıklarını değerlendirileceği çok kriterli bir karar verme stratejisi sunulmaktadır. Aralık değerli Fermatean bulanık kümeler, uygulamada altı ana kriter ve on beş destekleyici kriter temelinde değerlendirilen araçlar için otonom sürüş sistemleri için altı seçenek sunar. Bu çalışmanın bulguları, otonom araç sürüş sistemlerinin tanıtılmasının başarısını artırmak için siber saldırıların oluşturduğu tehdidin ele alındığını ve öncelik verildiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AHP, Fermatean bulanık çevresi, karar verme, otonom araç sürüş sistemi, risk değerlendirme.

<sup>1</sup>İstanbul Commerce University, Department of Mathematics, İstanbul, Türkiye.  
necipsimsek@hotmail.com, Orcid.org/0000-0003-3061-5770.

<sup>2</sup>İstanbul University-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Medicine Faculty, Department of Biostatistics and Medical Informatics, İstanbul, Türkiye.  
mkirischi@hotmail.com, Orcid.org/0000-0003-4938-5207.



## 1. INTRODUCTION

Autonomous vehicle driving systems (AVDS) aim to swiftly and effectively provide viable, safe, and human-like driving regulations. The conventional method often involves planning based on search or optimization, followed by a model-based controller. Due to disturbances, uncertainties, and a lack of computing time, this may not be sufficient in some driving conditions.

Recently, both corporate and academic researchers have become much more interested in AV technology. In general, hierarchical building pieces like perception, planning, and control may be used to categorize autonomous driving systems (Son et al., 2019). Segmentation and object categorization help with perception. Graph search, quickly exploring random trees, or optimization-based methods are the foundations of motion planning algorithms. Additionally, feedback controllers that control the steering, throttle, and braking actuators are used in the trajectory-tracking architecture. The safety and computing effectiveness of this tiered strategy may suffer.

Recent years have seen a lot of studies on automating the driving process, but because AV driving control systems are such complicated systems, creating and modeling them is difficult. Many engineers and educators have struggled to predict the outcomes of autonomous car driving control systems over the last few decades, but in recent years, computers have been incredibly useful in modeling such systems.

A self-driving vehicle (SDV) is a vehicle that can navigate on its own and comprehend its environment. A human passenger is not required to drive or even be inside the car at any time. An SDV can do every task that a qualified human driver can and travel wherever a normal vehicle can.

SDVs need sensors, actuators, challenging algorithms, machine learning systems, and robust processors to operate the software. SDVs create and maintain a map of their surroundings using a variety of sensors that are strategically placed all around the vehicle. Radar sensors are used to locate other vehicles. Video cameras can identify people, other cars, traffic signals, and road signs. By reflecting light pulses off the environment surrounding the automobile, lidar (light detection and ranging) sensors measure distances, locate road limitations, and recognize lane markings. Ultrasonic sensors on the wheels identify other vehicles and objects when parking.

There may be some advantages when comparing autonomous vehicle (AV) technology to human-driven vehicles. They might perhaps increase traffic safety, which would be one advantage. Many people lose their lives in automobile accidents every year, but autonomous cars may cause fewer deaths since their software is predicted to be less error-prone than that of human drivers. A decrease in traffic congestion brought on by fewer accidents is another potential advantage of AVs. By eliminating human acts that congest the road, notably stop-and-go traffic, autonomous driving can also achieve this. The possibility of more convenient transportation for individuals who are unable to drive due to age or other circumstances is another advantage of autonomous driving. Other advantages of AVs include the absence of driver fatigue and the opportunity to sleep during nocturnal excursions.

The impact that autonomous vehicles (AVs), sometimes referred to as self-driving, driverless, or robotic cars, will have on future travel and, subsequently, the need for parking spaces, roadways, and public transit systems They also want to know what government regulations may be put in place to reduce these problems and maximize the benefits of this new technology. Optimists predict that by 2030, AVs will replace the majority of driving, saving significant amounts of money and providing other advantages. However, there are good grounds for skepticism. There is much

uncertainty around the advancement of AVs, their benefits and drawbacks, the impact they will have on travel, and customer demand. A lot of work has to be done before AVs can operate securely in crowded metropolitan areas with bad weather, unpaved and unmapped roads, and locations with erratic Wi-Fi access. It is almost guaranteed that the first commercially accessible AVs will be expensive and of poor performance. They will come with added expenses and dangers. Sales will be capped by these limitations. Many drivers won't want to pay extra for vehicles that might not be able to get where they're going because of bad weather or unmapped routes.

The fuzzy set (FS) idea proposed by Zadeh (1965) was used to highlight the ambiguity and irrationality of a membership degree (MD). The intuitionistic fuzzy set (IFS), which Atanassov (1986) later discovered, may express assessment information more thoroughly by tying the non-membership degree (ND) of an element to a given item. IFSs, however, have a design that makes it challenging for judgment specialists to make the right assessments because of their considerable limitations in providing preference information. Yager (2013; 2014) invented the Pythagorean fuzzy set (PFS) to address the aforementioned IFS flaw by extending the range of MD and ND so that  $MD+ND=1$ . As a result, PFS provides specialists with more evaluation options to provide their opinions on a range of goals. It is getting harder for professionals to give more accurate assessment information as the decision environment becomes more complex. The ideas of IFS and PFS have been advocated to reduce the ambiguity and uncertainty brought on by the complex subjectivity of human cognition. Therefore, a larger information space is required to meet their evaluation expectations for various goals and take into account the professionals' decision-making process and knowledge base to make more suitable judgments. The Fermatean fuzzy set (FFS) was the first to broaden the range of information expression since it included the cubic sum of MD and ND in the interval. Therefore, compared to IFS and PFS, FFS is a more effective and practical approach for addressing the indeterminacy of choice difficulties. Due to their superiority in presenting confusing information and providing more options for specialists, researchers have pushed for the development of a variety of decision-making methodologies to address real-world choice and assessment challenges.

The FFS has been developed by Senapati and Yager (2020). FFS is better at explaining uncertainties than IFSs and PFSs. This work was continued by Senapati and Yager (2019a), who looked at a variety of new operations and arithmetic mean procedures over FFSs. To solve MCDM difficulties, they also applied the FF-weighted product model. FFS-related new aggregation operators have been defined, and (2019b) has examined the properties that go along with them. In a short time, many studies on FFS have entered the literature (Alkan & Kahraman, 2023; Garg et al., 2020; Jeevaraj, 2021; Kirişçi et al., 2022; Kirişçi, 2022a, 2022b, 2023; Mary et al., 2023; Senapati & Yager, 2019a, 2019b).

AVs come with a significant amount of risk, which must be properly evaluated by decision-makers. AV issues must be handled carefully given the significant risks associated with autonomous driving technology and how it will interact with the mobility system. This study aims to rank the risks associated with SDVs. In a multi-criteria decision-making (MCDM) dilemma, prioritizing risks requires taking into account a variety of viable solutions as well as conflicting tangible and intangible elements. An integrated MCDM approach according to FFSs is provided to address this MCDM challenge. This suggested solution addresses the prioritization of AV threats by offering cutting-edge integrated MCDM methodologies by the AHP, TOPSIS, and MABAC in a Fermatean fuzzy environment. Studies on sensitivity and comparability will be carried out to show the efficacy and usability of the recommended approach. To determine how the alternative rankings change as the criterion weights change, a sensitivity analysis (SA) will also be carried out. Planners and policymakers will be able to make judgments on SDVs with the aid of this study's findings.

The effect of criteria weights on the DM operation is specified using SA. It is also used to verify the suggested approach. In this analysis, various scenarios are developed that can alter the priorities of the alternatives, and it is demonstrated that the results are variable depending on the shifting weights of the criteria when the priorities of the alternatives are changed by raising or lowering the importance levels of the criteria. The outcome is therefore delicate but typically reliable. When discussing an unknown object's weight, this approach is useful. SA aims to identify the most critical criteria and how the weighting of the criteria affects the prioritization of AV threats. The possible risks are gathered by ISO 26262 standards (ISO, 2011) and literature review.

### 1.1. Originality

Risks according to SDVs are prioritized using an MCDM approach. The fuzzy approach employed in this work captures the erroneous information that distinguishes decision-makers' assessments. As a result, this study offers further insight into the specific risk environment for AVs in the future and, more broadly, offers policy measures for sustainable urban transportation. The strategy put forward in this study offers a sophisticated and enhanced manner of managing uncertainty in risk prioritization. For MCDM, a technique based on the IVFF-AHP procedure has been suggested to give planners more dependable options. The suggested approach is a helpful tool that may be used to solve various complicated choice issues with many competing criteria because of its adaptable structure. FFSs, as opposed to the IFS and PFS, express the ambiguity of erroneous info through MD and ND better. The professional team is requested to appraise the requirements, and they evaluate potential choices in light of the requirements. The IVFF-AHP is employed to compute the weights of the assessment criteria according to the opinions of professionals. As a result, an analysis is done on how criterion weights affect risk prioritization. To assess the dangers associated with SDVs, the efficacy of the suggested hybrid approach with an FFS is compared to that of another hybrid MCDM technique with a conventional FS.

The organization of this paper is as follows: Section 2 provides essential information that will be used throughout the paper. In Section 3, the newly proposed method, algorithm and the equations to be used in this algorithm are given. Again in this section, the risk assessment problem of AVs was defined and analyzed by making calculations with the given algorithm. The results obtained with the application of the method proposed in Section 4 are evaluated.

## 2. PRELIMINARIES

Let  $X$  be a non-empty set.

**Definition 2.1.** An IFS  $A$  in  $X$  is  $A = \{(x, \zeta_A(x), \eta_A(x)) : x \in X\}$ , where the functions  $\zeta_A, \eta_A : X \rightarrow [0,1]$  defined the MD and ND of an element to the sets  $A$  with the condition that  $0 \leq \zeta_A(x) + \eta_A(x) \leq 1$ , for  $\forall x \in X$ .

The hesitancy degree(HD)  $\theta_A(x) = 1 - \zeta_A(x) - \eta_A(x)$ .

**Definition 2.2.** A PFS  $B$  in  $X$  is  $B = \{(x, \zeta_B(x), \eta_B(x)) : x \in X\}$ , where the functions  $\zeta_B, \eta_B : X \rightarrow [0,1]$  defined the MD and ND of an element to the sets  $B$  for  $0 \leq \zeta_B^2(x) + \eta_B^2(x) \leq 1$ , for  $\forall x \in X$ .

The HD  $\theta_B(x) = \sqrt{1 - (\zeta_B^2(x) + \eta_B^2(x))}$ .

**Definition 2.3.** An FFS  $C$  in  $X$  is  $C = \{(x, \zeta_C(x), \eta_C(x)) : x \in X\}$ , where the functions  $\zeta_C, \eta_C : X \rightarrow [0, 1]$  defined the MD and ND of an element to the sets  $C$  for  $0 \leq \zeta_C^3(x) + \eta_C^3(x) \leq 1$ , for  $\forall x \in X$ .

The HD  $\theta_C(x) = \sqrt[3]{1 - (\zeta_C^3(x) + \eta_C^3(x))}$ .

**Definition 2.4.** An IVFFS  $D$  in  $X$  is  $D = \{(x, \zeta_D(x), \eta_D(x)) : x \in X\}$ , where the functions  $\zeta_D, \eta_D \subseteq [0, 1]$  defined the MD and ND of an element to the sets  $D$ .

For every  $x \in X$ ,  $\zeta_D(x)$  and  $\eta_D(x)$  are closed intervals, and their lower and upper bounds are denoted by  $\zeta_D^L(x), \zeta_D^U(x), \eta_D^L(x), \eta_D^U(x)$ , respectively. Hence,  $D$  can also be given  $\zeta_D(x) = [\zeta_D^L(x), \zeta_D^U(x)] \subseteq [0, 1]$ ,  $\eta_D(x) = [\eta_D^L(x), \eta_D^U(x)] \subseteq [0, 1]$ , where the expression is subject to the condition  $0 \leq (\zeta_D^U(x))^3 + (\eta_D^U(x))^3 \leq 1$ .

For each  $x \in X$ ,  $\theta_D(x) = [\theta_D^L(x), \theta_D^U(x)]$  is called the HD in IVFFSs, where

$$\theta_D^L(x) = \sqrt[3]{1 - [(\zeta_D^L(x))^3 + (\eta_D^L(x))^3]}; \quad \theta_D^U(x) = \sqrt[3]{1 - [(\zeta_D^U(x))^3 + (\eta_D^U(x))^3]}.$$

Consider the three IVFFNs

$$\begin{aligned} D &= ([\zeta_D^L(x), \zeta_D^U(x)], [\eta_D^L(x), \eta_D^U(x)]), \\ D_1 &= ([\zeta_{D_1}^L(x), \zeta_{D_1}^U(x)], [\eta_{D_1}^L(x), \eta_{D_1}^U(x)]), \\ D_2 &= ([\zeta_{D_2}^L(x), \zeta_{D_2}^U(x)], [\eta_{D_2}^L(x), \eta_{D_2}^U(x)]). \end{aligned}$$

Then, the arithmetical operations of IVFFNs are defined as:

$$D_1 \boxplus D_2 = \left( \left[ \sqrt[3]{(\zeta_{D_1}^L)^3 + (\zeta_{D_2}^L)^3 - (\zeta_{D_1}^L)^3 \cdot (\zeta_{D_2}^L)^3}, \sqrt[3]{(\zeta_{D_1}^U)^3 + (\zeta_{D_2}^U)^3 - (\zeta_{D_1}^U)^3 \cdot (\zeta_{D_2}^U)^3} \right], [\eta_{D_1}^L \cdot \eta_{D_2}^L, \eta_{D_1}^U \cdot \eta_{D_2}^U] \right),$$

$$D_1 \boxtimes D_2 = \left( [\zeta_{D_1}^L \cdot \zeta_{D_2}^L, \zeta_{D_1}^U \cdot \zeta_{D_2}^U], \left[ \sqrt[3]{(\eta_{D_1}^L)^3 + (\eta_{D_2}^L)^3 - (\eta_{D_1}^L)^3 \cdot (\eta_{D_2}^L)^3}, \sqrt[3]{(\eta_{D_1}^U)^3 + (\eta_{D_2}^U)^3 - (\eta_{D_1}^U)^3 \cdot (\eta_{D_2}^U)^3} \right] \right),$$

$$\lambda D = \left( \left[ \sqrt[3]{1 - (1 - (\zeta_D^L)^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (\zeta_D^U)^3)^\lambda} \right], [(\eta_D^L)^\lambda, (\eta_D^U)^\lambda] \right),$$

$$D^\lambda = \left( [(\zeta_D^L)^\lambda, (\zeta_D^U)^\lambda], \left[ \sqrt[3]{1 - (1 - (\eta_D^L)^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (\eta_D^U)^3)^\lambda} \right] \right).$$

The IVFF weighted average operator is a mapping  $IVFFWA: D^n \rightarrow D$ , where

$$IVFFWA(D_1, D_2, \dots, D_n) = \left( \left[ \sqrt[3]{\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\zeta_{D_i}^L)^3)^{\omega_i}\right)}, \sqrt[3]{\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\zeta_{D_i}^U)^3)^{\omega_i}\right)} \right], \left[ \prod_{i=1}^n (\eta_{D_i}^L)^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n (\eta_{D_i}^U)^{\omega_i} \right] \right).$$

The IVFF weighted geometric operator is a mapping  $IVFFWG: D^n \rightarrow D$ , where

$$IVFFWG(D_1, D_2, \dots, D_n) = \left( \left[ \prod_{i=1}^n (\zeta_{D_i}^L)^{\omega_i}, \prod_{i=1}^n (\zeta_{D_i}^U)^{\omega_i} \right], \left[ \sqrt[3]{\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\eta_{D_i}^L)^3)^{\omega_i}\right)}, \sqrt[3]{\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - (\eta_{D_i}^U)^3)^{\omega_i}\right)} \right] \right).$$

### 3. NEW METHOD BASED ON IVFF-AHP

#### 3.1 AHP Method

In 1980, Saaty (2008) introduced AHP, one of the most widely used MCDM strategies in the literature. In difficult MCDM scenarios, the approach has a structured form that is utilized to balance criteria and reach judgments. As a result, employing the usual AHP approach to express the decision-judgment makers in ambiguous situations is difficult. A fuzzy AHP has been added to the original AHP to mimic the ambiguity involved in human decision-making and judgment. Fuzzy-AHP was utilized to handle several MCDM issues in published papers, and the approach has subsequently altered as a result of new fuzzy set expansions. The first fuzzy-AHP modification by calculating fuzzy weights and fuzzy alternative scores using triangular fuzzy integers has been given by (Van Laarhoven & Pedrand, 1983). Buckley (1985) employed the geometric mean approach according to trapezoidal fuzzy numbers to compute the fuzzy weights and fuzzy alternative scores. CA's unique method for obtaining the synthetic extent values of the fuzzy AHP pairwise comparison scale utilizing triangular fuzzy numbers is introduced by (Chang, 1986). The interval-valued type-2 fuzzy AHP approach and a unique ranking mechanism according to type-2 fuzzy sets have been established (Kahraman et al., 2016). An intuitionistic fuzzy AHP was created by Sadiq and Tesfamariam (Sadiq & Tesfamariam, 2009) to deal with ambiguity and uncertainty in DM. The score function based on IVIFNs is given and suggests an original IVIF-AHP solution (Wu et al., 2013). The ordered weighted averaging (OWA) operator is employed to merge expert ideas in the hesitant fuzzy AHP, which was created by Oztaysi et al. (2015). In Gul's (2018) special method for risk assessment in the area of occupational health and safety, fuzzy VIKOR and PF-AHP were combined. The PF-AHP has been employed to weigh the risk features. Fuzzy VIKOR was then utilized to rank the threats. The unique method that merged AHP with COPRAS based on PFSs to investigate the choice of digital supply chain partners is proposed (Büyükoçkan & Göçer, 2021). The method yields accurate answers that better capture the ambiguity of the DM environment, according to Karasan et al. (2019), who developed and compared a revolutionary Pythagorean fuzzy AHP methodology to a conventional fuzzy AHP. For each option in a paired comparison, a neutrosophic AHP technique using triangular neutrosophic numbers is presented by Abdel-Basset et al. (2017). A unique IV-neutrosophic AHP technique with cosine similarity measurements and interval-valued neutrosophic AHP was developed by Bolturk and Kahraman (2018). Complex IV-q-rung orthopair FSs were built by Garg et al. (2021) and then utilized to

build both geometric and averaging aggregation operators. They suggested the CIVq-ROFS-based AHP and TOPSIS techniques. A unique hybrid fuzzy AHP and linear assignment model was created by (Gündoğdu et al., 2021). For integrating AHP with TOPSIS, Mathew et al. (2020) presented a new technique with spherical fuzzy sets. The IVFF-AHP was developed by Alkan and Karaman (2023). In this work, the major criteria and sub-criteria, the criteria weights, and the alternative rankings were all determined using the IVFF-AHP technique.

### 3.2. Proposed Method

The set  $A_i = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , having  $i = 1, 2, \dots, n$  alternatives, is evaluated by  $m$  decision criteria of set  $C_j = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ , with  $j = 1, 2, \dots, m$ . Let  $\omega_j = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$  be vector set used for defining the criteria weights, where  $\omega_j > 0$  and  $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ . Table 1 presents linguistic terms and their corresponding IVFNs. The steps of the IVFF-AHP method are:

**Step 1:** Build the hierarchical structure by determining the criteria and alternatives.

**Step 2:** Build the pairwise comparison matrix  $Z = (z_{ij})_{m \times m}$  according to the ideas of professionals. For  $z_{ij} = ([\zeta_{ij}^L, \zeta_{ij}^U], [\eta_{ij}^L, \eta_{ij}^U])$ ,

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & z_{mm} \end{bmatrix}.$$

**Step 3:** Check for the consistency of each pairwise comparison matrix ( $Z$ ). Here, to measure the consistency of professional judgments, match the crisp numbers obtained after defuzzifying to IVFFNs given in Table 2 based on Saaty’s scale. Then, apply Saaty’s classical consistency process.

**Step 4:** Aggregate the judgments of professionals.

The pairwise comparison matrix constituted for each professional is aggregated by using the IVFFWG aggregation operator. Let  $E_k = \{E_1, E_2, \dots, E_K\}$ , with  $k = 1, 2, \dots, K$ , denote the set of professionals having influence weights  $\omega_k$  for each  $E_k$ ;  $\sum_{k=1}^K \omega_k = 1$ .

$$IVFFWG(z_1, z_2, \dots, z_k) = \left( \left( \left[ \prod_{k=1}^K (\zeta_k^L)^{\omega_k}, \prod_{k=1}^K (\zeta_k^U)^{\omega_k} \right], \left[ \sqrt[3]{\left( 1 - \prod_{k=1}^K (1 - (\eta_k^L)^3)^{\omega_k} \right)}, \sqrt[3]{\left( 1 - \prod_{k=1}^K (1 - (\eta_k^U)^3)^{\omega_k} \right)} \right] \right) \right). \tag{1}$$

**Step 5:** Find the differences matrix  $D = (d_{ij})_{m \times m}$  between the lower and upper points of the membership and non-membership functions using Equations (2) and (3).

$$d_{ij}^L = (\zeta_{ij}^L)^3 - (\eta_{ij}^U)^3, \tag{2}$$

$$d_{ij}^U = (\zeta_{ij}^U)^3 - (\eta_{ij}^L)^3. \tag{3}$$

**Step 6:** Find the interval multiplicative matrix  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  with Equations (4) and (5).

$$s_{ij}^L = \sqrt[3]{1000^{d_{ij}^L}}, \tag{4}$$

$$s_{ij}^U = \sqrt[3]{1000^{d_{ij}^U}}. \tag{5}$$

**Step 7:** Obtain the indeterminacy value  $T = (t_{ij})_{m \times m}$  of  $z_{ij}$  using Equation (6).

$$t_{ij} = 1 - (\zeta_{ijU}^3 - \zeta_{ijL}^3) - (\eta_{ijU}^3 - \eta_{ijL}^3). \tag{6}$$

**Step 8:** Multiply the indeterminacy degrees with  $S = (s_{ij})_{m \times m}$  matrix to obtain the matrix of un-normalized weights  $R = (r_{ij})_{m \times m}$  using Equation (7).

$$r_{ij} = \left( \frac{s_{ij}^L + s_{ij}^U}{2} \right) t_{ij}. \tag{7}$$

**Step 9:** Obtain the normalized priority weights  $\omega_i$  by using Equation (8).

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^m r_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r_{ij}}. \tag{8}$$

**Step 10:** Rank the alternatives based on the normalized priority weights obtained in Step 9.

**Consistency:** The equation

$$CRT = \frac{CIX}{PIX} \tag{9}$$

is called the consistency ratio, where  $CIX = \frac{\lambda_{max}}{n-1}$ , RIX is the consistency index, and  $\lambda_{max}$  the random index, and principal eigenvalue for CRT, respectively.

Table 1. Linguistic Terms Scale with IVFFN equivalents

Linguistic Terms	IVFFNs			
	$\zeta_L$	$\zeta_U$	$\eta_L$	$\eta_U$
Certainly High Importance(CH)	0,95	1	0	0
Very High Importance(VH)	0,8	0,9	0,1	0,2
High Importance(H)	0,7	0,8	0,2	0,3
Slightly More Importance(SM)	0,6	0,65	0,35	0,4
Equally Importance(EI)	0,5	0,5	0,5	0,5
Slightly Less Importance(SL)	0,35	0,4	0,6	0,65
Low Importance(L)	0,2	0,3	0,7	0,8
Very Low Importance(VL)	0,1	0,2	0,8	0,9
Certainly Low Importance(CL)	0	0	0,95	1

### 3.3. Algorithm

---

#### Algorithm 1 IVFF-AHP

---

**Input:** Numbers of evaluation criteria and pairwise comparison matrices.

**Output:** Normalized priority weights.

**Begin**

**For**  $j=1; m$  **do**

1. Input: Pairwise comparison matrix using the Table 1.
2. Convert the linguistic terms into corresponding IVFFNs.
3. Check the consistency analysis.

**For all**  $Z$  **do**

CRT using Equation 9.

**End for**

4. **If**  $CRT > 0.1$   
Return to Step 1.

**Else**

Go to Step 5.

**End if**

5. Compute the IVFFWG using the Equation 1.

**End for**

6. Calculate the difference matrix using Equations 2, 3.
7. Compute the multiplicative matrix using Equations 4, 5.
8. Obtain the indeterminacy value of the  $t_{ij}$  using Equation 6.
9. Obtain the matrix of un-normalized weights using Equation 7.
10. Determine the normalized priority weights using Equation 8.
11. Rank the alternatives based on the normalized priority weights.

**End**

---

### 3.4. Problem Structure

A plan is necessary for the security prioritization of AVDS technologies. The possible risks have been identified using a literature review and the ISO 26262 standards (ISO, 2011). The testing revealed several risk variables, and their weights and priorities were calculated. Therefore, the agreement aims to offer a roadmap for selecting the riskiest component and taking the required precautions to reduce its risk for further research.

The dangers that affect SDVs are described using risk analysis. International standards and problems raised in the literature have helped establish criteria for the safety of SDVs. The hazards associated with SDVs are first described. The prioritization of these hazards was then studied using the novel methodology suggested in this study.

The risks are given as:

- A<sub>1</sub> – Economic Risks,
- A<sub>2</sub> – Cyber Attack Risks,
- A<sub>3</sub> – Implementation Risks,
- A<sub>4</sub> – Disruption/Catastrophic Risks,
- A<sub>5</sub> – Road Infrastructure Risks,
- A<sub>6</sub> – Behavioral Adaptation Risks,
- A<sub>7</sub> – Environmental Adaptation Risks,
- A<sub>8</sub> – Reputational Risks,
- A<sub>9</sub> – Internet Outage Risks,
- A<sub>10</sub> – Electronic Infrastructure Risks.



The determined main and sub-criteria are:

K<sub>1</sub> - Information Security;

K<sub>11</sub> – Hacking-Cyber Security

K<sub>12</sub> – Data Protection

K<sub>13</sub> - Legislation

K<sub>2</sub> - Problems of Components

K<sub>21</sub> - Human errors

K<sub>22</sub> - Hardware malfunctions

K<sub>23</sub> - Mechanical malfunctions

K<sub>24</sub> - Software malfunctions

K<sub>3</sub> – Accidents

K<sub>31</sub> - Road accidents

K<sub>32</sub> - Weather conditions

K<sub>33</sub> - Infrastructure conditions

K<sub>4</sub> - Traffic

K<sub>41</sub> - Traffic crowding

K<sub>5</sub> - Availability of Required Information

K<sub>51</sub> - Correct mapping

K<sub>52</sub> - Real-time updating of information

K<sub>6</sub> - Social Development

K<sub>61</sub> - Social acceptance

K<sub>62</sub> - Reliability

### 3.5. Computations

The Hierarchy Tree of risks is given in Figure 1.

In the initial stage, pairwise comparisons and fuzzy linguistic variables must be taken into account while computing the weights of the criterion using the IVFF-AHP method. The decision-making process can tolerate significant fuzziness, ambiguity, and imprecision. Additionally, an FFS is chosen to evaluate the risks related to SDVs utilizing AHP. The primary aim of utilizing an FFS is to improve the ranking of SDV threats in hybrid MCDM techniques while reducing computation complexity and calculation execution time.

Three professionals will utilize the rating scales indicated in Table 2 to examine their pairwise judgments of the dangers. For the primary criteria given in Table 3 and the sub-criteria listed in Table 2, the professional team constructed 6X6 comparison matrices and presented them. The consistency check is used to judge how impartial the professional opinions are in the pairwise comparison matrix. The CRTs of each matrix are calculated using Equation 9, and the results are determined to be less than 0.1, which is suitable. The weights are also reliable enough to be applied to assessments.

In Table 8, the IVFFSs are indicated for the key criteria that correspond to the language terms in Table 1. The major criterion between the higher and lower values of the MF and NF is then computed using Equations 2 and 3 and is indicated in Table 9. To create the interval multiplicative matrix in Table 10, Equations 4 and 5 are used.

Table 11 shows the weights before normalization, which were determined using Equation 7. Table 12 shows the final priority weights for the primary and secondary criteria after the outcomes of all these calculations were applied to the sub-criteria. The results indicate that information security needs are the most important, with a weight of 0.338. However, the social development criteria are the least important, with a weight of 0.04.

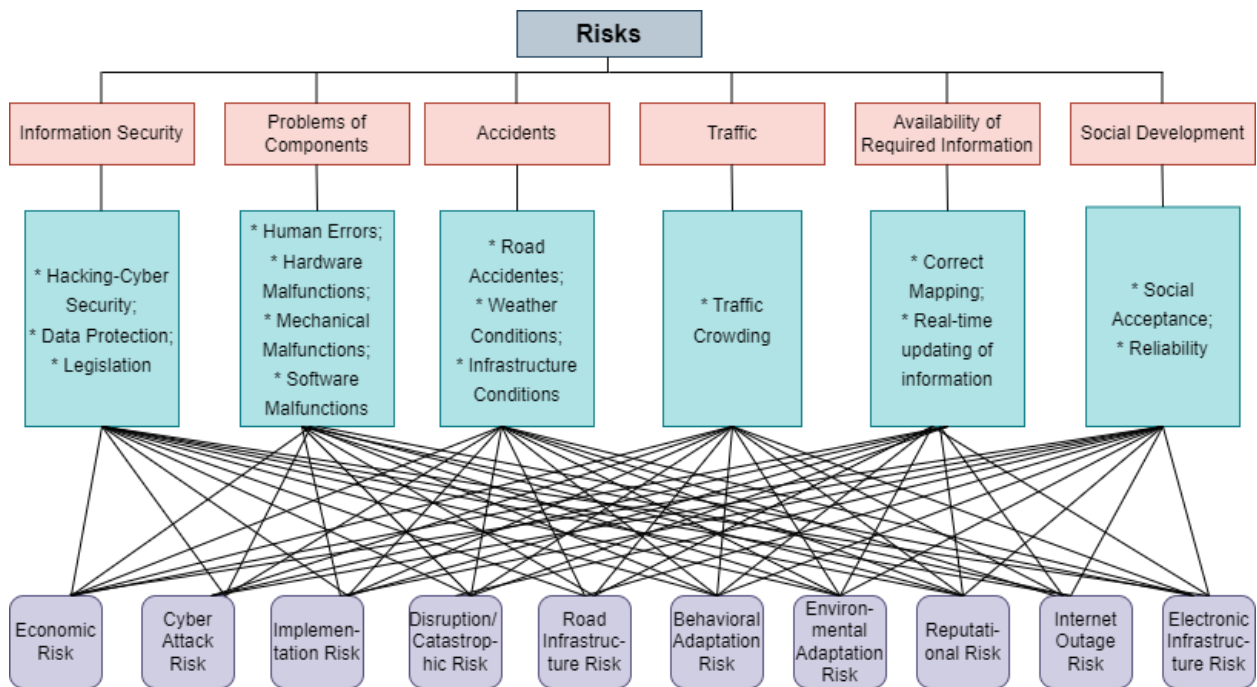


Figure 1. Hierarchy Tree of Risk Factors

Table 2. Pairwise Comparison Matrix of Main Criteria

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	EI	SM	SM	VH	H	H
K <sub>2</sub>	SL	EI	SM	VH	SM	H
K <sub>3</sub>	SL	SL	EI	H	SM	SM
K <sub>4</sub>	VL	VL	L	EI	L	SM
K <sub>5</sub>	L	SL	SM	H	EI	H
K <sub>6</sub>	L	L	SL	SL	L	EI

In Table 2, IVFFNs in Table 1 have been used in the pairwise comparison matrix given for the main criteria. In obtaining the values of the diagonal elements in the pairwise comparisons matrix, the EI value is given based on the principle that the comparison of any alternative with itself is equal to itself.

Table 3. Pairwise Matrix for K<sub>1</sub>

	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>
K <sub>11</sub>	EI	SM	H
K <sub>12</sub>	SM	EI	H
K <sub>13</sub>	H	H	EI

Table 4. Pairwise Matrix for  $K_2$ 

	$K_{21}$	$K_{22}$	$K_{23}$	$K_{24}$
$K_{21}$	EI	H	L	L
$K_{22}$	H	EI	VH	L
$K_{23}$	SL	VH	EI	L
$K_{24}$	VH	SL	SL	EI

Table 5. Pairwise Matrix for  $K_3$ 

	$K_{31}$	$K_{32}$	$K_{33}$
$K_{31}$	EI	H	CH
$K_{32}$	VH	EI	VH
$K_{33}$	CH	L	EI

Table 6. Pairwise Matrix for  $K_5$ 

	$K_{51}$	$K_{52}$
$K_{51}$	EI	VH
$K_{52}$	CH	EI

Table 7. Pairwise Matrix for  $K_6$ 

	$K_{61}$	$K_{62}$
$K_{61}$	EI	SM
$K_{62}$	SL	EI

In Tables 3-7, pairwise comparison matrices were obtained for the sub-criteria of the main criteria. After linguistic expressions in the pairwise comparison, matrices are converted to IVFFNs using the relevant scale. IVFFN equivalents of the main criteria are given in Table 8. When CRTs are obtained from the main criteria, the results are  $CRT_{K_1} = 0,0268$ ,  $CRT_{K_2} = 0,0392$ ,  $CRT_{K_3} = 0,0301$ ,  $CRT_{K_4} = 0,0122$ ,  $CRT_{K_5} = 0,0337$ ,  $CRT_{K_6} = 0,0937$ . As can be seen from these results, all CRTs of the main criteria were less than 0,1.

Table 8. IVFF Values for Main Criteria

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$
$K_1$	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])	([0,8, 0,9], [0,1, 0,2])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])
$K_2$	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])	([0,8, 0,9], [0,1, 0,2])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])
$K_3$	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])	([0,4, 0,5], [0,4, 0,5])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])
$K_4$	([0,1, 0,2], [0,8, 0,9])	([0,1, 0,2], [0,8, 0,9])	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,5, 0,65], [0,35, 0,4])
$K_5$	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,4, 0,5], [0,4, 0,5])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])	([0,65, 0,8], [0,2, 0,35])
$K_6$	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,35, 0,4], [0,5, 0,65])	([0,2, 0,35], [0,65, 0,8])	([0,5, 0,5], [0,5, 0,5])

After linguistic expressions in the pairwise comparison, matrices are converted to IVFFNs using the relevant scale (Table 1), and each expert's assessment is aggregated with the IVFFWG operator (Equation 1). Equations 2 and 3 are employed to compute the difference matrix D of the primary criterion between the higher and lower values of the MF and NF, which is denoted in Table 9. Equations 4 and 5 are employed to build the interval multiplicative matrix in Table 10.

Table 9. The Matrix D for The Main Criteria

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	(0,0, 0,0)	(0,061, 0,222)	(0,061, 0,222)	(0,504, 0,728)	(0,232, 0,504)	(0,232, 0,504)
K <sub>2</sub>	(-0,232, 0,061)	(0,0, 0,0)	(0,061, 0,232)	(0,504, 0,728)	(0,061, 0,232)	(0,232, 0,504)
K <sub>3</sub>	(-0,232, -0,061)	(-0,232, -0,061)	(0,0, 0,0)	(0,232, 0,504)	(-0,061, -0,061)	(0,061, 0,232)
K <sub>4</sub>	(-0,728, -0,504)	(-0,728, -0,504)	(-0,504, -0,232)	(0,0, 0,0)	(-0,504, -0,232)	(0,061, 0,232)
K <sub>5</sub>	(-0,504, -0,232)	(-0,504, -0,232)	(-0,061, -0,061)	(-0,232, -0,061)	(0,0, 0,0)	(0,232, 0,504)
K <sub>6</sub>	(-0,504, -0,232)	(-0,504, -0,232)	(-0,232, -0,061)	(-0,232, -0,061)	(-0,504, -0,232)	(0,0, 0,0)

Table 10. The Matrix S

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	(1,0, 1,0)	(1,235, 2,228)	(1,235, 2,228)	(5,702, 12,36)	(2,228, 5,702)	(2,228, 5,702)
K <sub>2</sub>	(-0,232, 0,061)	(1,0, 1,0)	(1,235, 2,228)	(5,702, 12,36)	(1,235, 2,228)	(2,228, 5,702)
K <sub>3</sub>	(-0,232, -0,061)	(0,45, 0,81)	(1,0, 1,0)	(2,228, 5,702)	(0,45, 0,45)	(1,235, 2,228)
K <sub>4</sub>	(-0,728, -0,504)	(0,081, 0,1754)	(0,1754, 0,45)	(1,0, 1,0)	(0,1754, 0,45)	(1,235, 2,228)
K <sub>5</sub>	(-0,504, -0,232)	(0,1754, 0,45)	(1,235, 2,228)	(0,45, 1,235)	(1,0, 1,0)	(2,228, 5,702)
K <sub>6</sub>	(-0,504, -0,232)	(0,1754, 0,45)	(0,45, 1,235))	(0,45, 1,235)	(0,1754, 0,45)	(1,0, 1,0)

Table 11. Weights

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
K <sub>1</sub>	1,0	1,96	1,94	9,32	4,55	4,55
K <sub>2</sub>	0,52	1,0	1,94	9,32	1,96	4,55
K <sub>3</sub>	0,52	0,52	1,0	4,55	1,02	1,96
K <sub>4</sub>	0,09	0,09	0,22	1,0	0,22	1,96
K <sub>5</sub>	0,22	0,52	1,02	4,55	1,0	4,55
K <sub>6</sub>	0,22	0,22	0,52	0,52	0,22	1,0

Table 12. Priority Weights

Criteria	Sub-Criteria	Main Criteria Weight	Criteria Weight
Information Security	Hacking-Cyber Security	0,338	0,14
	Data Protection		0,14
	Legislation		0,08
Problems of Components	Human Errors	0,252	0,10
	Hardware Malfunctions		0,07
	Mechanical Malfunctions		0,05
	Software Malfunctions		0,07
Accidents	Road Accidents	0,147	0,05
	Weather Conditions		0,03
	Infrastructure Conditions		0,03
Traffic		0,064	0,03
Availability of Required Information	Correct Mapping	0,140	0,05
	Real-Time Updating of information		0,07
Social Development	Social Acceptance	0,059	0,04
	Reliability		0,05

#### 4. DISCUSSION

These risks may be taken into account by businesses that are interested in producing these vehicles. Interaction between AVs and the environment can lead to several dangers. This research offers a hybrid method for ranking these hazards. As a result, disruption and major disasters are the least dangerous hazards, whereas cyberattacks are the deadliest. Because hackers may steal both the operating system of vehicles and the personal information of passengers, developers working on driverless cars can develop incredible ways to prevent them from committing both crimes.

The market for AVs will suffer if these aren't produced by developers. The cyberattack may be defended via artificial intelligence. Deep learning and machine learning are examples of artificial intelligence technologies that can give a system more robust security features. Automated technology can identify and prevent hacking offenses. Internet outages, electronic system failures, interruptions, natural catastrophes, implementations, transportation infrastructure, and environmental adaption are all major concerns. Before adopting autonomous automobiles, businesses should consider functional testing throughout the production phase. The criteria and standards for AVs should be specified by the decision-makers. This article highlights the risks connected to AVs for managers, enterprises, and decision-makers. This research rates the risk that AVs pose.

Another aspect of the use of the AV risk assessment approach heavily relies on the policy implications. In addition to creating an effective system that results in advancements, governments must see the idea of AVs as a milestone that benefits society in terms of transportation and cost-effective operations.

#### **4.1. Limitations**

Although the proposed decision system works efficiently and effectively, it is still unclear how to make the right decisions under complex scenarios. Additionally, the perception and comprehension of human behaviors including posture, voice, and motion will be important for AV safety. AVs will need to electronically connect with road infrastructure, satellites, and other cars (such as vehicular clouds) as autonomous technology advances. How do you make sure cybersecurity is one of the biggest concerns for AVs? Safety is the most important concern that can have a big impact on how the public feels about new AV technology. Other main concerns preventing the commercialization of AVs include cost and public interest.

### **5. CONCLUSION**

Although AVs provide a variety of benefits, like efficient energy consumption, a decrease in harmful gas emissions, and a safer driving environment, there may also be several safety-related risks. To conduct a risk evaluation, it will be beneficial to use analytical methods like MCDM procedures. To draw more accurate and helpful findings from this risk assessment process, the FS theory may be used with MCDM methodologies. This study set out to fill a crucial knowledge gap in the literature by illuminating the methods for identifying and prioritizing the risks connected to SDVs. To rank and prioritize processes within the IVFF environment, IVFF-AHP was applied. The AHP, methodology has been rebuilt for this purpose using the IVFF environment.

It is essential to examine the dangers posed by these vehicles to lessen their negative impacts and boost industrial profitability. The findings of this work will assist decision-makers by reducing the uncertainty of professional judgments and enabling them to consider elements including interruption, implementation, environmental factors, acceptance, and responsibility, in addition to hacking and malfunction factors and internet outages. People who use and operate self-driving technology may find the study beneficial. The results of this research show that the threat of cyberattacks is being prioritized and targeted to increase the effectiveness of the deployment of SDVs.

It is conceivable to propose that various integrated fuzzy-based MCDM approaches can be used for this problem as a suggestion for future research, and the outcomes can be compared in this paper. The proposed methodology can also be used to analyze the roadmap for AVDS technology enhancement in addition to risk assessment.

#### **Authorship Contributions**

All authors equally contributed to the design and implementation of the research, the analysis of the results, and the writing of the manuscript.

#### **Conflict of Interest**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

Research and publication ethics were complied with in the study.

## REFERENCES

- Abdel-Basset. M., Mohamed, M., Zhou, Y. & Hezam, I. (2017). Multi-criteria group decision-making based on the neutrosophic analytic hierarchy process. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 333(6), 4055-4066.
- Alkan N. & Kahraman C. (2023). Prioritization of Supply chain digital transformation strategies using multi-expert fermatean fuzzy analytic hierarchy process, *Informatica*, 34(1), 1-33.
- Atanassov, K. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87-96.
- Boltürk E. & Kahraman C. (2018). A novel interval-valued neutrosophic AHP with cosine similarity measure. *Soft Computing*, 22(15), 4941-4958.
- Buckley, J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.
- Büyükoğkan, G. & Göçer, F. (2021). A novel approach integrating AHP and COPRAS under Pythagorean fuzzy sets for digital supply Chain partner selection. *IEEE Transactions On Engineering Management*, 68, 1486-1503.
- Chang, D. (1986). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655.
- Garg, H., Shahzadi, G. & Akram M. (2020). Decision-making analysis based on fermatean fuzzy yager aggregation operators with application in COVID-19 testing facility. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Article ID 7279027, <https://doi.org/10.1155/2020/7279027>.
- Garg, H., Ali, Z. & Mahmood, T. (2021). Algorithms for complex interval-valued q-rung orthopair fuzzy sets in decision-making based on aggregation operators, AHP, and TOPSIS. *Expert Systems*, 38(1), 1-36.
- Gül, M. (2018). Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and coloring unit. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(4), 705-718.
- Gündoğdu, F.K., Duleba, S., Moslem, S. & Aydın S. (2021). Evaluating public transport service quality using picture fuzzy analytic hierarchy process and linear assignment model. *Applied Soft Computing*, 100, 106920.
- ISO 26262 - Parts [2-8] Requirements decomposition concerning ASIL tailoring (2011).
- Jeevaraj, S. (2021). Ordering of interval-valued Fermatean fuzzy sets and its applications. *Expert Systems with Applications*, 185, 115613.
- Kahraman, C., Oztaysi, B., Sari, I. & Turanoglu, E. (2016). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowl Based System*, 59, 48-57.
- Karasan, A., Ilbahar, E. & Kahraman, C. (2019). A novel Pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem. *Soft Computing*, 23(21), 10953-10968.

- Kirişci, M., Demir, I. & Simsek, N. (2022). Fermatean fuzzy ELECTRE multi-criteria group decision-making and most suitable biomedical material selection. *Artificial Intelligence in Medicine*, 127, 102278. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102278>.
- Kirişci, M. (2022a). Correlation Coefficients of Fermatean Fuzzy Sets with Their Application, *J. Math. Sci. Model.*, 5(2), 16-23. <https://doi.org/10.33187/jmsm.1039613>.
- Kirisci, M. (2022b). Data Analysis for Lung Cancer: Fermatean Hesitant Fuzzy Sets Approach, *Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation*, 30, 701-710. <https://doi.org/10.3233/ATDE221087>.
- Kirişci, M. (2023). New cosine similarity and distance measures for Fermatean fuzzy sets and TOPSIS approach. *Knowl Inf Syst*, 65, 855–868. <https://doi.org/10.1007/s10115-022-01776-4>.
- Mary, F.R.P., Mohanaselvi S. & Broumi S. (2023). A solution approach to minimum spanning tree problem under Fermatean fuzzy environment. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(3), 1738-1746.
- Mathew, M., Chakraborty, R. & Ryan, M. (2020). A novel approach integrating AHP and TOPSIS under spherical fuzzy sets for advanced manufacturing system selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 96, 103988.
- Öztaysi, B., Onar S., Boltürk E. & Kahraman C. (2015). Hesitant fuzzy analytic hierarchy process. *2015 IEEE International Conference Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2015, 1–7.
- Saaty, T.L. (2008). The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: Applications to decisions under Risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(1), 122-196.
- Sadiq, R. & Tesfamariam, S. (2009). Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1), 75–91.
- Senapati, T. & Yager, R.R. (2019a). Some new operations over Fermatean fuzzy numbers and application of Fermatean fuzzy WPM in multiple criteria decision making. *Informatica*, 30(2), 391-412.
- Senapati, T. & Yager, R.R. (2019b). Fermatean fuzzy weighted averaging/geometric operators and their application in multi-criteria decision-making methods. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 112-121.
- Senapati, T. & Yager, R.R. (2020). Fermatean Fuzzy Sets. *J. Ambient Intell. Hum. Comp.* 11, 663-674.
- Son, T.D., Bhave, A. & der Auweraer, V. (2019). Simulation-based testing framework for autonomous driving development. *IEEE International Conference on Mechatronics*, 576-583. <https://doi.org/10.1109/ICMECH.2019.8722847>.
- Van Laarhoven, P. & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets Syst*, 11(1–3), 229-241.



- Wu, J., Huang, H. & Cao, Q. (2013). Research on AHP with interval-valued intuitionistic fuzzy sets and its application in multicriteria decision-making problems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(24), 9898-9906.
- Yager, R.R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. *Proc. Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting*, Edmonton, Canada.
- Yager, R.R. (2014). Pythagorean membership grades in multi-criteria decision-making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958-965.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Inf. Comp.*, 8, 338-353.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# KONTEYNER TERMINALLERİNDEKİ İŞ KAZALARININ BULANIK DEMATEL VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ: KOCAELİ LİMAN BÖLGESİNDE BİR UYGULAMA\*

INVESTIGATION OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN CONTAINER TERMINALS BY  
FUZZY DEMATEL AND TOPSIS METHODS: AN APPLICATION IN KOCAELI PORT  
AREA

Kübra GÜÇLÜ<sup>1</sup>

Murat YORULMAZ<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1304787>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
kguclu33@gmail.com

Geliş Tarihi / Received  
28.05.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
07.12.2023

## Öz

Uluslararası ticarete denizyolu taşımacılığı diğer taşımacılık türlerine göre birçok avantaja sahiptir. Denizyolu taşımacılığında en çok tercih edilen konteyner taşımacılığı, aynı anda büyük miktarlarda yüklerin güvenilir ve hızlı bir şekilde taşınabilmesini sağladığı için konteyner terminallerindeki gemi ve yük trafiği yoğun olmaktadır. Konteyner terminalleri, yükün konteynerler aracılığıyla taşındığı karayolu, demiryolu ve denizyolu arasındaki ara yüzdür ve bünyesinde birçok riski bir arada bulundurmaktadır. Dolayısıyla iş kazalarını ve yaralanmaları önleyebilmek adına iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin çalışma alanına taşınması önemli bir husustur. Bu kapsamda bu çalışmanın amacı, konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının nedenlerinin belirlenmesi ve iş kazalarının önlenmesine yönelik alınabilecek önlemlerin tespit edilmesidir. Bu çalışmada, konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri kriterler ve alt kriterler olarak değerlendirilmiş ve bulanık DEMATEL yöntemi ile analiz edilmiştir. Ardından konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarını önleyebilmek adına belirlenmiş alternatifler TOPSIS yöntemi ile analiz edilerek önem derecesine göre sıralanmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda, konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının nedenleri arasında "yönetim uygulamaları kaynaklı" iş kazalarının ilk sırada geldiği tespit edilmiştir. Alternatif önlemlerin sıralamasında ise "iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması" en ideal çözüm olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık DEMATEL, iş kazası, iş sağlığı ve güvenliği, konteyner terminali, TOPSIS.

## Abstract

In international trade, maritime transportation is more advantageous than other transportation types. Container shipping which is most preferred in maritime transportation, ensures that large quantities of cargo can be transported reliably and quickly. Container terminals are the interface between road, rail and sea, where the cargo is transported by containers, and they contain many risks together. Therefore, it is an important issue to carry occupational health and safety management systems to the work area in order to prevent work accidents and injuries. In this study, the aim of the thesis is to determine the causes of occupational accidents in container terminals and to determine the measures that can be taken to prevent occupational accidents. In this study, the causes of occupational accidents in container terminals were evaluated as criteria and sub-criteria and analyzed with the "Fuzzy DEMATEL" method. Then, in order to prevent occupational accidents in container terminals, some alternatives were analyzed with the TOPSIS method and ranked according to their significance. As a result of the analyzes, it has been determined that among the causes of occupational accidents in container terminals, "management practices" is the most important cause of occupational accidents. Among the alternative measures, "increasing the effectiveness of occupational health and safety inspections" was determined as the most ideal solution.

**Keywords:** Container terminal, fuzzy DEMATEL, occupational accident, occupational health and safety, TOPSIS.

\*Bu çalışma, Kübra GÜÇLÜ'nün Doç. Dr. Murat YORULMAZ danışmanlığında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Kocaeli, Türkiye. kguclu33@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-6436-4335.

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye. murat.yorulmaz@kocaeli.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-5736-9146.

## 1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği, iş kazası ve meslek hastalıklarının yaşanmasını engellemeyi amaçlayan ve bu doğrultuda çalışma ortamında her türlü tehlike ve riski ortadan kaldırmak amacıyla yürütülen sistematik çalışmaları ifade etmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinin temel amacı olan çalışanları koruma ideolojisi öncelikle çalışma ortamında mevcut tehlike ve riskleri belirleme adımı ile başlamaktadır. Riskler belirlendikten sonra sırasıyla risk ile kaynağında mücadele edilerek riskin ortadan kaldırılması, risk skorunun şiddet ve olasılık bakımından en aza indirilmesi, bu mümkün değil ise riskin az riskli ile değiştirilmesi ve son adım olarak kişisel koruyucu donanımlar ile çalışanların korunması adımlarını kapsamaktadır.

Çalışma ortamında, işin yürütümü sırasında plansız bir şekilde meydana gelen ve sonucunda çalışmanı bedenlen, ruhen veya sosyal yönden engelli hale getiren olaylar iş kazası olarak tanımlanmaktadır. İş kazaları ile mücadele etmede proaktif yaklaşımların benimsenmesi doğru bir yöntemdir. Proaktif yaklaşımların çalışma alanlarına entegre edilmesinde kaza nedensellik teorilerinin bilinmesi ve tam manasıyla anlaşılması önemlidir.

Konuya ilişkin literatür incelendiğinde farklı sektörlerde yaşanan iş kazalarını inceleyen çalışmalara rastlanmıştır. Asan ve Akasah (2015), inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarını önlemeye yönelik iş kazaları nedenlerinin belirlenmesi ve önerilerin sunulabilmesi adına bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Atılgan ve ark., (2015) Türkiye’de mobilya sanayinde iş kazaları ve meslek hastalıklarını değerlendirmiştir. Çalışmada mobilya sanayinde yaşanan iş kazaları nedenleri kategorize edilerek incelenmiş, iş kazalarının sonuçlarına değinilmiş ve sektöre çeşitli öneriler sunulmuştur. Sunulan önerilerin en başında eğitim gelirken periyodik kontrollerin aksatılmaması gerekliliği ve iş güvenliği kültürüne ilişkin çalışmaların yürütülmesi konuları da alternatifler arasında yer almıştır. İnşaat sektöründe yaşanan ölümlü iş kazalarını Malezya kapsamında inceleyen Samuel ve ark., (2017) şantiyelerde meydana gelen ölümlü iş kazalarını türlerine göre kategorize etmeyi amaçlamış ve iş kazası nedenleri üzerinde durmuştur. On dört aylık bir periyotta yaşanan iş kazaları incelendiğinde kaza türleri arasından yüksekte düşme ve elektrik çarpması dikkat çekerken yaşanan iş kazası sebepleri arasında ağırlığı en yüksek olan faktör çalışanların iş sağlığı ve güvenliği prosedürlerine uymamaları ve kişisel koruyucu donanımları doğru şekilde kullanmamaları olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması önerilmiştir. Wu ve Huang (2019), Tianjin Limanı yangın ve patlama kazasını incelediği çalışmasında kazanın kök nedeninin güvenli olmayan davranış sergileme olduğunu tespit etmiştir. İnşaat sektöründe iş kazalarını inceleyen Karadağ ve Kepekli (2019) yaşanan iş kazalarının nedenlerinde en sık rastladığı faktörleri göze çapak kaçması ve yüksekte düşme şeklinde sıralamıştır. İş kazalarına ilişkin sektöre sunduğu öneriler arasında iş güvenliği kültürünün oluşturulması ve kalıcı çözümler adına sistematik çalışmaların yürütülmesi konuları yer almıştır.

İş kazaları sonucunda bir işletme kapsamında tüm taraflar olumsuz yönde etkilenmektedir. İş kazası sonucu doğan maddi ve manevi kayıplar çalışmanı, işvereni ve devleti zorlayan faktörler arasındadır. Literatürde özellikle inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarının incelenmesi inşaat sektörü işletmelerine ve araştırmacılara destek olurken konteyner terminallerinde iş kazaları nedenlerinin ve çözüm önerilerinin sunulduğu bir çalışmaya rastlanılmamış olması konteyner terminaleri işletmeleri ve yöneticileri adına büyük bir eksiklik olarak görülebilir. Dolayısıyla konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları çerçevesinde değerlendirilebilecek olan bu çalışma literatürdeki bu eksikliği gidererek konteyner terminaleri işletmeleri yöneticilerine ve araştırmacılara yol gösterir nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Her sektörde olduğu gibi konteyner terminallerinde de amacı iş kazalarını önlemek olan iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin uygulanmasında bazı önceliklendirme problemleri yaşanabilmektedir.

Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı, konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri arasında neden sonuç ilişkisinin kurulması ve söz konusu iş kazalarını önlemek için sunulan alternatiflerin önem derecesine göre sınıflandırılmasıdır. Böylece işletme bünyesinde yürütülmesi gereken iş sağlığı ve güvenliği faaliyetleri listesinde yer alan tüm aksiyonları önem derecesine göre sınıflandırmak mümkün kılınmıştır. Dolayısıyla sektör uzmanlarının hangi konuya öncelik verilmesi gerektiği konusunda yaşadıkları problemlerin de önüne geçilebilmiştir.

Literatür incelendiğinde, farklı sektörlerde iş kazalarının nedenlerini inceleyen (Atılğan ve ark., 2015; Samuel ve ark., 2017; Wu & Huang, 2019; Karadağ & Kepekli, 2019) çalışmalara rastlanmıştır. Limanlarda iş kazaları konusu üzerine yürütülmüş sınırlı sayıda (Fabiano ve ark., 2010; Ünal & Alkan, 2015; Töz & Köseoğlu, 2015; Özdemir, 2016; Danacı, 2017; Andriani ve ark., 2019; Solmaz ve ark., 2020) çalışmaya rastlanmış olsa da konteyner terminalleri özelinde bütünlük şeklinde bulanık DEMATEL (Decision Making Trail and Evaluating Laboratory) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemleri kullanılarak iş kazalarının nedenlerinin ve sunulan çözüm önerilerinin incelenerek analiz edildiği bir çalışmanın yapılmadığı tespit edilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Risk belirli bir tehlike kaynağından doğan istenmeyen eylem veya durumlar olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda risk zararın şiddeti ve zararın meydana gelme olasılığının bileşimi olarak da tanımlanabilmektedir (Güneri ve ark., 2015). İş sağlığı ve güvenliği disiplinlerarası bir bakış açısı ile çalışanların sağlıklı ve güvenli çalışma alanlarında çalışması, iş kazalarının önlenmesi ve/veya en aza indirilmesi ve çalışanların güvenlik farkındalığının artırılması görevlerini içermektedir. Risk değerlendirilmesi iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinde son dönemde bazı yasal düzenlemeler nedeniyle büyük önem kazanmıştır (Gül, 2018). Risk değerlendirmesi çalışmaları işyerinde işin yürütümü esnasında oluşabilecek veya dışarıdan gelebilecek her türlü tehlikenin belirlenmesi, tanımlanması ve bu tehlikeler sonucu doğabilecek risklerin analiz edilerek derecelendirilmesini kapsamaktadır. Tehlike ve risklerin derecelendirilmesinin yanı sıra risklere yönelik kontrol ve tedbirlerin belirlenerek takip edilmesi de risk değerlendirmesinin olumlu getirilerinden biridir (Akpınar & Çakmakkaya, 2014). Risk değerlendirme metotları önleyici ve koruyucu bir kazanım ile iş kazalarını önlemeyi amaçlamaktadır (Güneri ve ark., 2015). Risk değerlendirmesi çalışmaları risklerin nedenlerini tanımlayarak kazaların önlenmesinde proaktif bir yaklaşım sağlamaktadır.

Risk değerlendirme prosedürü şu adımlardan oluşmaktadır; tehlikelerin tanımlanması, tehlikeye kimin ve nasıl maruz kalacağını belirlenmesi, tehlikelerden doğabilecek risklerin derecelendirilmesi, kontrol ve önlemlere karar verilmesi, çalışmanın gözden geçirilmesi ve gerekli ise güncellenmesi (Shikha & Sharad, 2016). Risk değerlendirme sürecinde ilgili alanların yetkililerinin de çalışmaya katılması doğru ve etkili sonuçlar elde etmede önemli bir husustur.

Limanlarda ve konteyner terminallerinde risk değerlendirmesi kapsamında yürütülen çalışmalar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Limanlarda ve Konteyner Terminalinde Yapılan Risk Değerlendirmesi Çalışmaları

Çalışmada Yunanistan'da bulunan iki konteyner terminalinde risk değerlendirmesi çalışması düzenlenmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre Pire'de bulunan konteyner terminalinde konteyner düşmesi ve alınan sistem hataları risk faktörleri yüksek risk kategorisinde yer alırken, Selanik'te faaliyet gösteren konteyner terminalinde yasadışı ticaret faaliyetleri ve depremler konuları yüksek risk olarak tespit edilmiştir (Chlomoudis ve ark., 2012).
Tayvan'da yer alan konteyner terminalinde yürütülen risk değerlendirmesi çalışmasında insan, makine, medya ve yönetim ana tehlike kaynaklarına ait 16 risk faktörü incelenmiştir. Çalışma sonunda operasyon esnasında operatörlere ait hata ve kusurlar, iletişimde yanlış anlaşılmalara, dikkatsizlik ve ihmâl faktörleri yüksek risk kategorisinde derecelendirilmiştir (Ding & Tseng, 2012)
Selanik'te bir konteyner terminalinde uygulanan risk değerlendirmesinde insan, makine, çevre, güvenlik ve doğa olayları başlıkları altında incelenen alt kategori riskler mevcuttur. 2008-2011 yılları arasında yaşanan kaza ve olaylar incelendiğinde, iş kazası sonucu ölüm oranı liman yılı başına 0,982 iken çevresel kaza kapsamında petrol sızıntısı oranı 0,375 olarak tespit edilmiştir (Chlomoudis ve ark., 2016)
Konteyner terminallerinde belirlenen 15 risk FTA yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüksek potansiyel riske sahip 5 faktör tespit edilmiştir. Yüksek riske sahip faktörler, kayma, takılma ve düşme, rıhtım vinci ile kamyon arasında yaşanan kazalar, kamyonun çalışana çarpması ile yaşanan kazalar, konteynerin düşmesi ve konteynerler arasında çalışanın sıkışması şeklinde derlenmiştir (Sunaryo & Hamka, 2017).
Limanlarda yaşanan iş kazaları kapsamında insan faktörü göz önüne alınarak yapılan risk değerlendirmesi çalışmasında 7 risk faktörü değerlendirilmiş ve derecelendirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucuna göre, dikkatsizlik ve ihmâl faktörlerinin yüksek risk kategorisinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Operasyon esnasında operatör hataları, iletişimde yanlış anlaşılmalara ve iş güvenliği kurallarının uygulanması faktörlerinin ise orta risk kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir (Kadir ve ark., 2017).
Yeşil limanda iş güvenliği kapsamında risklerin FMEA yöntemi ile analiz edildiği çalışmada 19 adet risk faktörü incelenmiştir. Analiz sonucunda 19 risk faktöründen, yükleme ve boşaltma işlemi sırasında konteynerin kaldırılamaması, kapıların hasarlı gönderilmesi, yük taşınırken kombine çekicinin arızalanması ve lastiklerin yırtılması ve gemi limana yanaştığında çamurluk zincirinin kırılması faktörlerinin en yüksek risk skoruna sahip olduğu görülmüştür (Andriani ve ark., 2019).
Endonezya'da yer alan bir konteyner terminalinde 5 yıl boyunca yaşanan iş kazaları verileri ile FTA yöntemi kullanılarak yapılan risk değerlendirmesi çalışmasında en yüksek risk derecesi yükleme ve boşaltma işlemi sırasında konteynerin düşmesi faktörüne ait olduğu görülmüştür. Takiben terminal içerisindeki trafik kazalarına ait riskler ve yükleme boşaltma ekipmanlarına ait hasarlar yüksek risk kategorisine dahil edilmiştir (Budiyanto & Fernanda, 2020)

Konteyner terminalleri özelinde incelenen iş kazaları nedenlerine 4M teorisinde yer alan dört faktöre (insan, makine, çevre ve yönetim) (Chen & Wang, 2021) çalışan kaynaklı, yönetim uygulamaları kaynaklı, çalışma ortamı kaynaklı, ekipman kaynaklı ve ek olarak yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazalarının eklenmesi mümkündür.

İş kazalarını önleme politikalarında her sektöre uyarlanabilecek temel alternatifler söz konusudur. Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının önlenmesine yönelik göz önünde bulundurulması gereken alternatifler, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkinliğinin artırılması, güvenlik liderliğinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi, terminal proseslerinde dijitalleşme, çalışma

alanında 5S ve 6S kuralları kapsamında düzenlemelerin sağlanması ve iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması şeklinde sayılabilir.

## 2.1. Konteyner Terminallerinde İş Kazaları Nedenleri

Bu çalışmada iş kazaları nedenleri ana kriterler ve alt kriterler olarak ele alınmıştır. Ana kriterler arasında; çalışan kaynaklı, yönetim uygulamaları kaynaklı, çalışma ortamı kaynaklı, ekipman kaynaklı ve yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları yer almaktadır.

### 2.1.1. Çalışan kaynaklı iş kazaları

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) istatistiklerine göre, denizcilik sektöründe yaşanan kazaların sebeplerinde %80 oranında doğrudan veya dolaylı olarak insan faktörlerini görmek mümkündür (Chen ve ark., 2020). Denizcilik sektöründe yaşanan kazalarda insan faktörleri, işe uygun personel alımının yapılmaması sonucu iş ve çalışan arasındaki uyumsuzluk, yetkinlik eksikliği ve iletişim problemleri gibi konular ile ilişkilendirilmiştir (Qiao ve ark., 2020). İnsan hatalarını minimize edebilmek için yönetsel ve bireysel çalışmalar sürdürülmelidir.

Güvenlik davranışı, çalışanların güvenlik uygulamalarına karşı sergiledikleri tutumların tümünü ifade etmektedir. Güvenlik davranışı, güvenlik faaliyetlerine katılım, yönetim ve astların güvenlik uygulamalarına yönelik etkileşimi ve kişisel korunmaya ilişkin davranışlar olmak üzere üç kritik bileşenden meydana gelmektedir. Çalışma ortamının güvenilirliği, güvenlik eğitimlerinin etkinliği, işletmenin güvenlik ve emniyet politikaları, güvenlik iletişimi ve güvenlik yönetimi gibi faktörler çalışanların güvenlik ve risk algısını etkilemektedir (Lu & Kuo, 2016). İş kazalarının nedenleri incelenirken, çalışanların güvenlik iklimini nasıl algıladıklarının değerlendirilmesi önemli bir husustur. Güvenlik iklimi, yönetim değerleri, organizasyonel uygulamalar, açık iletişim ve çalışanların iş güvenliği uygulamalarına katılımı gibi önemli noktaları içinde barındırmaktadır (Lu & Shang, 2005). Güvenlik ikliminin sağlanabilmesi için çeşitli duyarlılaştırma faaliyetleri ve eğitimlerin düzenlenmesi önerilmektedir.

Denizcilik sektöründe güvenlik odağı, teknik engeller ve SMS (Safety Management System) adlı güvenlik yönetim sistemleri üzerine inşa edilmiştir. SMS, IMO'nun ISM (International Safety Management) kodundaki bir gereksinim sonucu ortaya çıkmıştır. IMO, ISM kodu ile denizcilik endüstrisinde kademeli olarak bir güvenlik kültürü oluşturmayı hedeflemiştir (Nævestad ve ark., 2019). Uluslararası düzenlemelerin işletmeye entegre edilmesi ile iş kazalarını tetikleyen faktörleri ortadan kaldırılmak veya en aza indirmek mümkündür.

Tüm konteyner terminalleri operasyonları çalışanda yüksek düzeyde stres ve yorgunluğa sebep olmaktadır. Bu tip psikososyal sağlık sorunları ise çalışanın hastalanma ve kaza geçirme eğiliminin artmasına zemin hazırlamaktadır (Walters ve ark., 2020). Konteyner terminallerinde çalışanlarda en sık rastlanan rahatsızlıklar, kas-iskelet sistemi hastalıkları, mide-bağırsak problemleri, yorgunluk ve strestir (Wadsworth ve ark., 2016). Bu bağlamda çalışanların periyodik sağlık kontrollerinin sağlanması ve mevcut rahatsızlıklara yönelik tedaviye yönlendirilmesi önem arz etmektedir.

### 2.1.2. Yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları

Yönetim uygulamalarında gözlemlenen eksiklikler veya uygunsuzluklar iş kazaları nedenleri arasında sayılmaktadır. Yönetimin güvenlik algısı çalışanlar üzerinde doğrudan etkilidir.

Denizcilik sektöründe güvenlik ve emniyet adına yapılan düzenlemeler genel olarak can ve mal güvenliğini sağlamayı hedeflemiştir. İlgili düzenlemeler doğrultusunda işletmelerde uygulanması

gereken faaliyetlerde yönetim uygulamaları ve yönetimin yaklaşımı büyük role sahiptir. Yasal düzenleme ve standartlar işletme yönetimini güvenlik uygulamalarına teşvik etmede önemli bir husustur. Bahsi geçen düzenlemelerin ve ilgili tüm mevzuatın takibi yönetimin sorumluluğundadır. Yönetim, mevzuatta yapılan değişiklikleri yakından takip etmeli ve saha operasyonlarında mevzuata uygun planlama, uygulama, kontrol etme ve sürekli iyileştirme politikaları geliştirmelidir. Konteyner terminallerinde yaşanan yönetim kaynaklı iş kazalarının bir başka sebebi ise iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkin olmamasıdır.

İş Sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin yasal mevzuata uygun şekilde verilmesi ve yenilenmesi yönetimin sorumluluğundadır. Eğitimlerin eksiksiz olmasına karşın iş kazası yaşanabilme olasılığı, eğitimlerin etkinliğinin değerlendirilmesi üzerinde durulması gerekliliğini doğurmaktadır. Eğitimlerin etkinliğinin artırılmasında, kullanılacak olan görseller, interaktif katılım ortamı sağlayabilme ve eğiticinin donanımı ile güven duygusunu sağlayabilmesi hususlarının faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Yönetim kaynaklı iş kazası nedenleri arasında bir başka husus ise denetim eksiklikleridir. İş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin kontrol edilmesi ve sürekliliğinin sağlanması adına iç ve dış denetimler yürütülmektedir. Denetimlerde denetçi kişi ve/veya kurumun bağımsızlığı hususu denetim mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin her faaliyetin standartlaştırılması, işletme içerisinde sistematik bir yapının kurulmasına faydalı olmaktadır. Belirli periyotlar ile düzenlenen denetimler, iş sağlığı ve güvenliği yaklaşımlarının her zaman canlı tutulmasına olanak sağlamaktadır.

### 2.1.3. Çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları

Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının sebepleri arasında her işletme için çalışma ortamına ilişkin uygunsuzluklardan bahsedilebilmektedir. Konteyner terminallerinde yaşanan, çalışma ortamına ilişkin iş kazalarının sebepleri arasında uygun olmayan ergonomik koşullar, fiziksel risk etmenleri ve kaygan zemin unsuru dikkat çekmektedir.

Ergonomi uyum ve uygunluk anlamları taşımakla birlikte söz konusu işin insana, insanın da çalışma ortamına ve işe uygunluğunu sağlamak amacıyla yürütülmesi gereken sistemler bütünü olarak ifade edilmektedir. Konteyner terminallerinde gemi tarafında, vinç operatörleri sekiz saatlik normal bir vardiya süresince ortalama 220-300 kadar konteyner hareket ettirebilmektedir. Bu da çalışma saatleri içerisinde yaklaşık her iki dakikada bir konteyner hareket ettirme çalışması gerçekleştirildiği anlamına gelmektedir. Bu işlem sırasında operatörler konteyner hareketini izlemek ve hareket halindeki diğer konteynerler ile çarpışmayı önlemek amacıyla buldukları konumda sıklıkla aşağı bakma davranışı sergilemektedirler. Konteyner terminallerinde olumsuz ergonomik koşullara örnek teşkil edilebilecek sürekli aşağı bakma hareketi çalışmada özellikle boyun ve sırt ağrılarına sebep olmaktadır (Marayong ve ark., 2012). Konteyner terminallerinde ergonomik açıdan değerlendirilmesi gereken bir başka risk ise elle yük taşıma faaliyetleridir.

Elle yük taşıma çalışmaları bir veya daha fazla çalışan tarafından bir yükün taşınması operasyonları, yükü kaldırma, tutma, itme ve çekme eylemlerini kapsamaktadır. Ergonomik uygunsuzluklar sonucu biyomekanik aşırı yüklenmeye bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları gözlemlenebilmektedir. Omuz, dirsek, bilek, bel ve organizmanın tümünü tehdit eden uygunsuzluklara ek çalışanın kişisel özellikleri, çalışmanın nitelikleri, tekrarlayan hareketler ve duruşlar, çalışma döngüsü süresi, yetersiz dinlenme süreleri gibi faktörler de kazaların şiddetini ve sıklığını artırma potansiyeline sahiptir (Caballini & Paolucci, 2019). Çalışma ortamında karşılaşılabilecek ve iş kazası yaşanmasını tetikleyebilecek bir başka faktör ise işletmedeki fiziksel risk etmenleridir.

Fiziksel risk etmenleri, gürültü, titreşim, basınç, termal konfor, aydınlatma ve radyasyon şeklinde sınıflandırılabilir. Fiziksel risk etmenlerinin ilgili çalışmalar ve düzenlemeler doğrultusunda kabul edilebilir seviyede tutulamaması çalışanlarda çeşitli olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Limanlarda sıkça rastlanılan kaygan zemin problemleri de iş kazası yaşanmasına sebep olmaktadır (Mollaoğlu ve ark., 2019). Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları sebepleri arasında kaygan zemin faktörüne %3 oranında rastlanılmaktadır (Budiyanto ve Fernanda, 2020). Çalışma ortamında su, buzlanma, kimyasal maddelere bağlı zeminde ve basamaklarda oluşan kaygan zemin, yürüme sırasında kontrolü kaybederek düşmelere sebep olmaktadır. Düşme sonucu hafif yaralanmalar olabileceği gibi ciddi yaralanmalar ve ölüm gibi sonuçlarla da karşılaşılabilir.

#### **2.1.4. Ekipman kaynaklı iş kazaları**

Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının nedenleri arasında sayılabilecek bir başka unsur makine, ekipman ve teçhizat kaynaklı uygunsuzluklardır. Düzenlenen bakım faaliyetlerinin, ekipmanların uygunluğu ve yeterliliğinin, kişisel koruyucu donanımların kullanımının ve terminal içerisindeki trafik iş kazalarının yaşanma sıklığı ve şiddetini doğrudan etkilemektedir.

Konteyner terminallerinde kullanılan her bir makinenin ve aracın periyodik aralıklar ile bakım sürecine tabi tutulması, ekipman kaynaklı iş kazalarının önlenmesini doğrudan etkilemektedir (Mollaoğlu ve ark., 2019). İş kazalarının önlenmesinde makine ve ekipman bakımlarının bir plan dahilinde periyodik olarak yapılması ani arızalar sonucu yaralanmaları önemli ölçüde azaltmaktadır.

Liman özellikleri, gemi tipi ve kaza türü işletme içerisinde trafik kazaları sonucu yaralanma ve ölüm sayısı için kritik bir öneme sahiptir. Limanlar için geliştirilen trafik yönetimi politikası işletme içi trafik kazalarının azaltılması için bir gerekliliktir (Yip, 2008). Limanlarda trafik yönetimi adına uygulanan iyileştirme çalışmaları uzun vadede kaza meydana gelme olasılığını %50 oranında azaltma potansiyeline sahiptir (Antão ve ark., 2016). Düzensiz istifleme probleminin sıkça rastlandığı liman sahasında trafik levhalarının olmadığı yollarda ve trafik kazalarına yönelik önlemlerin alınmadığı alanlarda iş kazalarının yaşanma olasılığı daha yüksektir (Mollaoğlu ve ark., 2019). Bu doğrultuda yük elleçleme sistemleri de iş kazaları üzerine etkilidir. Uygun elleçleme sistemlerinin belirlenmesi ve uygulanması konteyner terminallerinde iş kazalarının ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesini sağlamaktadır.

#### **2.1.5. Yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları**

Konteyner istifleme operasyonlarında potansiyel uygunsuzluklar içinde konteyner üzerinden düşme, konteyner bağlama işlemlerinde yüksekten düşme, güvenli olmayan elleçleme yöntemleri, ezilme, konteyner kapılarının çarpması ve tehlikeli kimyasal maddelere maruziyet gibi faktörler yer almaktadır (Shang ve ark., 2011). Konteyner yükleme-boşaltma operasyonlarının, terminal ve gemi özellikleri, taşınan yükün cinsi, çevresel ve ekipman kaynaklı tüm risk etmenleri dikkate alınarak planlanması gerekmektedir. Tehlikeli yüklerin elleçlenmesinde kimyasal ve biyolojik riskler de göz ardı edilmemelidir.

Tehlikeli yüklerin liman sahasında elleçlenmesi ve depolanması ile ilgili riskler, yükleme-boşaltma ekipmanlarında ani arızalar, kötü hava koşulları, yakındaki bir gemide yangın veya patlama gibi konuları kapsamaktadır. Konteyner terminalleri özelinde ise bu risklere ek olarak konteynerin yapısal bütünlüğünün bozulması ve kargo içeriğinin değişmesi gibi hususlar ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Konteyner terminallerinde kazalar, terminal girişlerinde, depolama, elleçleme veya nakliye işlemleri sırasında meydana gelebilmektedir (Bolat ve ark., 2016). Bu



bağlamda tehlikeli yüklerin elleçlenmesine ilişkin uygunsuzlukların giderilmesi kaza oranlarını da düşürmektedir.

Birbiri ve çevresindeki diğer maddeler ile tepkimeye girerek istenmeyen kazalara sebep olabilecek potansiyele sahip yüklerin depolama şartlarına uygun elleçlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple tehlikeli yüklerin uluslararası çerçevede tanınması gerekliliği doğmuştur. Bu doğrultuda tehlikeli kimyasal maddeler IMDG-C (International Maritime Dangerous Goods Code) Uluslararası Denizcilik Tehlikeli Yükler Kodu altında bir araya getirilerek sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır (Ünal & Usluer, 2015).

Kısıtlanmamış bir saha ile karşılaştırıldığında kısıtlı bir çalışma sahası, operatörler, tesisler ve makineler için yetersiz depolama alanı, sınırlı ve sıkışık bir çalışma ortamı anlamına gelmektedir (Manu ve ark., 2010). Tehlikeli yüklerin elleçlenmesinde her bir tehlikeli maddenin kimyasal özellikleri dikkate alınmalıdır. Tehlikeli yükler için uygun sıcaklık, ışık, nem gibi faktörler gözden geçirilmelidir. Depolama alanının yeterli büyüklükte olması ve uygun istifleme yöntemleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler uygunsuz ve güvenli olmayan operasyonel davranışlara neden olarak kazaların meydana gelmesini doğrudan etkileyebilmektedir (Suraji ve ark., 2001). Kısıtlı bir çalışma sahası sürekli saha tıkanıklığına yol açarak kazaları tetikleyebilmektedir.

Limana işletmesi çalışanlarının maruz kaldığı en yaygın riskler arasında elverişsiz hava koşulları, dökme yüklerin aktarılması esnasında toz riski, yıpranmış aktarma ekipmanları, hasarlı kargolar ile çalışma ve özellikle yaz aylarında yaşanması muhtemel yangın halleri sayılabilmektedir (Bauk ve ark., 2017).

Konteynerler göçükler, yırtılmalar, çatlaklar ve korozyon gibi yapısal veya yapısal olmayan hasarlara maruz kalabilmektedir. Hasar gözlemlenen konteynerler tanımlanmalı, hizmetten çıkarılmalı ve bakım faaliyetlerinin başlatılması sağlanmalıdır (OSHA, 2013). Hasarlı konteyner kullanımı iş kazası yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Konteyner terminallerinde çalışma ortamı ve çalışan güvenliğini sağlayabilmek adına hasarlı konteyner tespiti halinde konteynerin en kısa sürede bakım sürecine alınması önem arz etmektedir.

## **2.2. Konteyner Terminallerinde İş Kazalarının Önlenmesine Yönelik Alternatifler**

Yaşanan iş kazalarının sonuçları doğrultusunda, çalışan, işveren ve üçüncü taraflar üzerinde olumsuz etkiler gözlemlenebilmektedir. Önleme politikalarının kaza meydana gelmeden önce belirlenebilmesi ve uygulanabilmesi için kazaya sebebiyet verebilecek faktörleri belirlemek ve uygun yöntem ile değerlendirmek gerekmektedir. Yapılan risk değerlendirmesinde kazaları önlemek adına birtakım öneriler de sunulmalıdır.

Alternatif olarak iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri etkinliğinin artırılması, güvenlik liderliğinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi, terminal proseslerinde dijitalleşme, çalışma alanında 5S ve 6S kuralları kapsamında düzenlemeler ve iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması konuları değerlendirilmiştir.

### **2.2.1. İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkinliğinin artırılması**

Her işletmede olduğu gibi konteyner terminallerinde de iş sağlığı ve güvenliği eğitim programları yasal mevzuat gereği işe girişte ve periyodik aralıklarla uygulanmaktadır. Eğitim faaliyetlerinin iş kazalarını azaltmada gözlenen olumlu etkisi oldukça güçlüdür (Jang ve Ha, 2016). Eğitim programlarının uygulanmasının yanı sıra sonuçlarının ölçülmesi ve eğitim etkinliğinin değerlendirilmesi de gerekmektedir.

İşletmede etkin bir sağlık ve güvenlik algısının sağlanabilmesi için iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine tüm çalışanların tam katılım göstermesi ve bir kültür ortamı oluşturulması hedeflenmelidir (Sungur ve ark., 2009).

İş sağlığı ve güvenliği teorik-sınıf eğitimlerinin yanında sahada aktif eğitimlerin düzenlenmesi ve bir konu özelinde yerinde eğitimler verilmesinin iş güvenliği kültürü oluşturulması üzerinde etkili olacağı düşünülmektedir.

### **2.2.2. Güvenlik liderliğinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi**

İş sağlığı ve güvenliği kapsamında yaşanan iş kazalarının nedenleri arasında güvensiz davranış sıklıkla rastlanan bir faktördür. Çalışanların güvensiz davranış sergileme eğilimlerinin altında yatan nedenlerden biri ise güvenlik kültürünün benimsenememiş olmasıdır (Dursun, 2013). Güvenlik kültürü, güvenliği sağlama, koruma ve yükseltme gibi hedefleri kapsamakta ve güvenliğe yönelik sorumluluk almayı ifade etmektedir (Carrol, 1998). Dolayısıyla güvenlik kültürünün işletme içerisinde anlaşılması ve bu konuya ilişkin çeşitli faaliyetlerin sürdürülmesi iş kazalarının yaşanma sıklığını azaltacaktır denilebilir.

Genel çerçeveden bakıldığında güvenlik performansının sonucunu doğrudan etkileyen yol güvenlik liderliğinden geçmektedir (Wu ve ark., 2008). Liderler, çalışanların katılımını, doğru iletişim yöntemlerinin uygulanmasını, uygun bir işyerinin oluşturulması adına üst düzey yönetimin bağlılığını sağlamakta kilit noktadır ve güvenliği artırmanın yollarını düşünmelidir.

### **2.2.3. Terminal proseslerinde dijitalleşme**

Sistemin çalışanın inisiyatifinden alınarak dijital ekipmanlar ile işletilmesi insanın doğasında var olan hata yapma eğiliminden kaynaklanan iş kazalarının önüne geçmede dikkate alınması gereken bir husustur.

Konteyner terminalleri içerisinde yük taşıma operasyonlarında iş kazasına sebep olabilecek çeşitli riskler söz konusudur. Yük taşıma operasyonlarında ana avlu alanının insanlar tarafından erişime engellenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yük taşıma işlemlerinin de manuel yapılmasından ziyade konteyner istif makineleri ile yürütülmesi muhtemel kazaların önüne geçme de önemli bir adımdır (Vrakas ve ark., 2021). Yük taşıma faaliyetlerinde dijitalleşmenin yaygınlaştırılması ve sürdürülmesi ile yük elleçleme kaynaklı iş kazalarının önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Konteyner terminallerinde yük boşaltma, yükleme, taşıma, istifleme gibi işlemlerde dijitalleşmeye rastlanılsa da bağlama operasyonları hala manuel yapılmaktadır. İnsan inisiyatifine bırakılmış her işte ve işletmede insan hatası kaynaklı iş kazalarının görülme sıklığı daha yüksektir.

### **2.2.4. Çalışma alanında 5S ve 6S kuralları kapsamında düzenlemeler**

İşyeri organizasyonu, atık azaltma politikaları, verimlilik ve güvenliğin artırılması kuruluşun karına doğrudan katkıda bulunan temel düzeydeki gereksinimlerden bazılarıdır (Liker, 2004). Etkili, verimli, düzenli ve temiz bir işyeri yaratmak ve sürdürmek için bir Japon tekniği olan 5S tekniği, birçok farklı sektörde kullanılmaktadır (Osada, 1991). 5S felsefesi, tüm paydaşlar için temiz ve ergonomik olarak güvenli bir işyeri sağlamayı, ayıkla, düzenle, temizle, standartlaştır ve disipline et şeklinde işyerini bir dizi teknikle yönetmeyi amaçlamaktadır. Ayıkla ilkesi, gereksiz ve istenmeyen öğelerin alandan uzaklaştırılmasını; düzenle ilkesi, güvenli ve verimli bir çalışma ortamı için sistematik bir düzen sağlanmasını; temizle ilkesi, işyerinin temizliğinin sağlanmasını; standartlaştır ilkesi, işyeri organizasyonunda tutarlılık için standartlar belirlenmesini ve disipline et ilkesi, belirlenmiş standartların korunması, gözden geçirilmesi ve sürdürülebilirliğinin

sağlanmasını ifade etmektedir (Gupta, 2021). 5S çalışmaları ile çalışma ortamında bulunan güvensiz durumların ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi mümkündür.

5S uygulamalarına iş güvenliği çalışmalarının eklenerek 5S+1S olarak düşünülebilen 6S felsefesi ile çalışma ortamına ilişkin tüm risklerde %64 oranında azalma olabileceği sonucuna varılmıştır (Fernandes ve ark., 2018). İş güvenliği faaliyetlerinin 5S kuramına eklenmesi ile iş sağlığı ve güvenliği olgusu bir kuramın çıktısı olmaktan sıyrılarak kuram ilkeleri arasında yer almaya başlamıştır.

Konteyner terminallerinde iş akışı sürecinde yüklerde ve ekipmanlarda sürekli bir hareketlilik söz konusudur. 6S metodolojisi tam da bu noktada devreye girmekte ve tüm çalışma alanlarında iş güvenliğini sağlamanın bir yolunu oluşturmaktadır. Çalışma alanlarında gereksiz ve fazlalık eşyaların bertaraf edilmesi, tüm konteyner ve makinelerin düzen içinde yerleştirilmesi ve istiflenmesi, çalışma alanının her türlü kirlilikten korunması, tüm proseslerin formlar ve talimatlar yardımı ile standardize edilmesi, tüm ekipmanların tanımlı alanlarının olması, yürüyüş yollarının belirgin şekilde tanımlanması gibi çalışmalar özellikle takılma, çarpma, düşme, iki nesne arasında sıkışma gibi yaralanma ile sonuçlanabilecek kazaların önüne geçebilmektedir.

### 2.2.5. İş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması

Çalışanların sağlık ve güvenliğinin tam manası ile sağlanabilmesi için uygulanan tüm faaliyetlere ilişkin uygun periyodik aralıklar ile iş sağlığı ve güvenliği denetimleri uygulanması gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin temel amaçları arasında iş kazalarının önlenmesi ve meslek hastalıklarının engellenmesi yer almaktadır (Karabulut, 2016). İş sağlığı ve güvenliği denetimleri ile çalışma ortamında güvenlik adına alınması gereken önlemler, bu önlemlere yöneticilerin ve çalışanların uyup uymadığı, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine ilişkin verilerin uygunluğu gibi önleyici faaliyetler kontrol edilmekte, iş kazası ve meslek hastalığına karşı alınan tedbirler değerlendirilmektedir (ÇSGB İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, 2011). Denetim çıktısı için sunulan uygunsuzluklar ise iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinde önceliklendirme konusunda yardımcı olmaktadır.

## 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, konteyner terminallerinde iş kazalarının nedenleri arasındaki ilişkinin incelenmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır. Konteyner terminalleri özelinde iş kazalarına yönelik sunulan çözüm önerileri (alternatifler) ise TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir.

### 3.1. Çalışmada Kullanılan Yöntemlerin Avantajları

DEMATEL, çok kriterli karar verme metotları arasında yer alan kriterlerin yapısal korelasyonunu oluşturmak için kullanılan pragmatik bir yöntemdir (Abdullah ve ark., 2019). Çalışmalarda karar vericilerin kullandıkları nitel tanımlamalar ve ölçekler çalışmanın sonunda şeffaf sonuçlar elde edilmesinde zorluklar yaşanmasına sebep olmaktadır. Ancak DEMATEL metodu ile karmaşık nedensellik ilişkilerinin daha anlaşılır kılınması sağlanmaktadır.

DEMATEL yöntemi çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için Gabus ve Fontela (1973) tarafından literatüre tanıtılmıştır. Daha sonra Wu ve Lee (2007), sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek ve sonuçları anlamlı kılabilmek adına DEMATEL yöntemini bulanık mantık ile birleştirerek bulanık DEMATEL metodunu kullanmışlardır.

Karar verme problemleri, belirlenen tüm alternatifler arasından en iyi seçeneği bulma sürecidir (Chen, 2000). TOPSIS yöntemi, sezgisel bir konsepte dayanmakta olup pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüm odağına en uzak mesafeye sahip olan en iyi alternatifin seçilmesi adına tutarlı ve sistematik kriterler sağlamaktadır. İdeal çözüm, maksimum fayda çözümü olarak kabul edilmektedir (Shyjith ve ark., 2008). Başka bir deyişle TOPSIS, ideal çözüme benzerliği ve yakınlığına göre alternatifler arasında sıralama tercihini yerleştirme tekniğidir.

Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilen TOPSIS yöntemi fayda kriterlerini maksimize ve maliyet kriterlerini minimize eden ideal bir çözüme benzerliğe göre sıralama tercihi sunan çok kriterli karar verme metodolojisidir.

Çalışmada belirlenmiş olan problemin çözümü için ve araştırmanın amacına ulaşabilmesi adına çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden Bulanık DEMATEL ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

### 3.2. Bulanık DEMATEL Yöntemi

Bulanık DEMATEL yöntemi 8 aşamadan oluşmaktadır ve Tablo 2’de metodoloji akış şeması gösterilmiştir.

Tablo 2. Bulanık DEMATEL Yöntemi Akış Şeması

Adım 1	Problemin Tanımlanması Karar Vericilerin Belirlenmesi
Adım 2	Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi Bulanık Skalanın Oluşturulması
Adım 3	Başlangıç Direkt İlişki Matrisinin (Z) Kurulması
Adım 4	Normalize Edilmiş Direkt İlişki Matrisinin (X) Oluşturulması
Adım 5	Toplam Bulanık Direkt İlişki Matrisinin (T) Kurulması
Adım 6	Değerlerin Durulaştırılması İşlemi
Adım 7	Neden-Sonuç İlişkilerinin Belirlenmesi
Adım 8	Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

*Adım 1: Karar vericilerin belirlenmesi.* Çalışmaya yönelik problem tespit edilir ve problemin amacı belirlenir. Problem konusunda görüşlerinin alınacağı kişilerden oluşan bir karar verici grubunun oluşturulması sağlanır.

*Adım 2: Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve bulanık skalanın oluşturulması.* Bu adımda uygulama için kullanılacak kriterler kümesi, alt kriterler kümesi ve bulanık skala oluşturulur. Değerlendirme kriterleri arasındaki nedensellik ilişkisinin karmaşık yapıda olması sebebiyle bulanık dilsel ölçeğin kullanılması tercih edilir. Bulanık dilsel ölçek için Li (1999) ile Wu ve Lee (2007) tarafından önerilen bulanık skala kullanılır. Bir kriterin diğer bir kriter üzerindeki etkisi bulanık skalada dilsel olarak “etkisi yok”, “çok az etkili”, “az etkili”, “fazla etkili”, ve “çok fazla etkili” olarak ifade edilmiş ve her bir dilsel terim üçgen bulanık sayılar ile tanımlanmıştır. Söz konusu bulanık skala Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Kriterlere Ait Dilsel Terimler ve Üçgen Bulanık Sayılar (Wu &amp; Lee, 2007)

Dilsel Terimler	Üçgen Bulanık Değerler
Etkisi Yok	(0; 0; 0,25)
Çok Az Etkili	(0; 0,25; 0,50)
Az Etkili	(0,25; 0,50; 0,75)
Fazla Etkili	(0,50; 0,75; 1,0)
Çok Fazla Etkili	(0,75; 1,0; 1,0)

*Adım 3: Başlangıç direkt ilişki matrisinin (Z) oluşturulması.* Bu adımda karar vericilerin kriterler arasındaki ikili ilişkisi değerlendirilmektedir. Kriterleri ifade eden  $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$  tanımlamalar arasındaki ilişki düzeylerini değerlendirmek amacıyla her bir karar verici ikili karşılaştırma matrisi oluşturmaktadır. Her bir kriterin diğer bir kriterle etki düzeyi dilsel terimler ile ifade edilmektedir.  $p$  tane karar verici olduğu düşünülürse  $p$  tane karar matrisi  $\tilde{z}^{(1)}, \tilde{z}^{(2)}, \dots, \tilde{z}^{(p)}$  elde edilmektedir. Eşitlik (1),  $k$ . karar vericinin belirlenen kriterler ile oluşturmuş olduğu başlangıç direkt ilişki matrisini ifade etmektedir;

$$\tilde{z}^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{z}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{z}_{21}^{(k)} & 0 & \dots & \tilde{z}_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1}^{(k)} & \tilde{z}_{n2}^{(k)} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

Bir dilsel terimin ifadesi olan  $Z_{ij}^{(k)} = (\tilde{l}_{ij}^{(k)}, \tilde{m}_{ij}^{(k)}, \tilde{u}_{ij}^{(k)})$  üçgen bulanık sayısında  $i$ . kriterin  $j$ . kriteri etkileme düzeyi yansıtılmaktadır.  $\tilde{z}_{ii}^{(k)} = (\tilde{l}_{ii}^{(k)}, \tilde{m}_{ii}^{(k)}, \tilde{u}_{ii}^{(k)})$  ( $i=1,2,3,\dots, n$ ) üçgensel bulanık sayısı her bir kriterin kendi üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Bu değer karar vericilerin yanıtlarından bağımsız  $(0,0,0)$  olarak verilmektedir (Mavi & Standing, 2018).

*Adım 4: Normalize edilmiş direkt ilişki matrisi (X) oluşturulması.* Kriterleri karşılaştırılabilir bir ölçüğe dönüştürmek için doğrusal skala transformasyon yöntemi ile normalize edilmiş direkt ilişki matrisi oluşturulması gerekmektedir.  $\tilde{X}$  matrisi normalize edilmiş direkt ilişki matrisini ifade etmektedir.  $\tilde{X}$  matrisi,  $\tilde{x}^{(1)}, \tilde{x}^{(2)}, \dots, \tilde{x}^{(p)}$   $p$  tane karar verici tarafından oluşturulan karar matrislerinin bulanık ortalama işlemi kullanılarak normalize edilmiş direkt ilişki matrisleri birleşimi ile oluşturulur. Bu adımda Formül (2) kullanılmaktadır. Normalize edilmiş direkt ilişki matrisi (X) Eşitlik (3)'de görüldüğü gibi olmalıdır;

$$\tilde{X} = \frac{(\tilde{x}^{(1)} + \tilde{x}^{(2)} + \dots + \tilde{x}^{(p)})}{p} \quad (2)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p \tilde{x}_{ij}^{(k)}}{p} \quad (3)$$

Bir sonraki aşamada  $\tilde{X}$  matrisi Formül (4) ve Formül (5) kullanılarak normalize edilmektedir (Mavi & Standing, 2018). Bu aşamada direkt ilişki matrisinde bulunan  $u$  sütunları toplanmakta ve bulunan sonuçlar arasındaki maksimum değer bulanık direkt ilişki matrisindeki tüm sayılara bölünerek normalleştirme işlemi yapılmaktadır;

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left( \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \tag{4}$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left( \frac{l_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \tag{5}$$

Elde edilen normalize bulanık direkt ilişki matrisi Eşitlik (6)'da görüldüğü gibi oluşmaktadır;

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & 0 & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad k = 1, 2, \dots, p \tag{6}$$

*Adım 5: Toplam bulanık direkt ilişki matrisinin (T) oluşturulması.* Mevcut kriterler üzerinde etkileyen-etkilenen modelinin kurulabilmesi için toplam bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulması gerekmektedir.  $\tilde{T}$  toplam ilişki matrisi ve  $I$  birim matrisi olmak üzere Formül (7) uygulanarak toplam bulanık ilişki matrisi elde edilmektedir;

$$\tilde{T} = \tilde{x}(I - \tilde{x})^{-1} \tag{7}$$

Normalize bulanık direkt ilişki matrisinin bulanık sayılardan oluşması sebebi ile formülün uygulanması zor olduğu için  $l, m, u$  değerlerinin her biri için ayrı bir matris oluşturularak uygulanmaktadır. Üç matris için de birim matristen çıkarıldıktan sonra elde edilen matrisin tersi alınmakta ve son olarak matrisin ilk hali ile çarpılmaktadır. Bu işlemin her bir matris için uygulanmasının ardından matrisler birleştirilerek toplam bulanık direkt ilişki matrisi Eşitlik (8)'deki haliyle oluşturulmaktadır (Jassbi ve ark., 2011; Mavi & Standing, 2018);

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{T}_{11} & \tilde{T}_{12} & \dots & \tilde{T}_{1n} \\ \tilde{T}_{21} & \tilde{T}_{22} & \dots & \tilde{T}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{T}_{n1} & \tilde{T}_{n2} & \dots & \tilde{T}_{nn} \end{bmatrix} \tag{8}$$

*Adım 6: Değerlerin durulaştırılması işlemi.* Bir önceki adımda elde edilen toplam bulanık direkt ilişki matrisinde sütun elemanları değerleri toplanarak  $\tilde{D}_i$  değeri elde edilmektedir. Satır elemanları değerleri toplamı sonucunda ise  $\tilde{R}_i$  değeri elde edilmektedir. Bulunan değerler ile  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  sonuçları bulunmaktadır. Bulunan değerlerin bulanık üçgensel sayılardan oluşması sebebiyle bu değerlere Formül (9) ve Formül (10) uygulanarak durulaştırma işlemi yapılmaktadır (Jassbi ve ark., 2011; Mavi ve Standing, 2018);

$$\tilde{D}_j^{def} + \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}) \tag{9}$$

$$\tilde{D}_j^{def} - \tilde{R}_i^{def} = \frac{1}{4}(x_{ij,l} + 2x_{ij,m} + x_{ij,u}) \tag{10}$$

*Adım 7: Neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi.* Bu aşamada  $\tilde{D}_j^{def} + \tilde{R}_i^{def}$  değerleri ve  $\tilde{D}_j^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değerlerinin ilişki diyagramı oluşturularak yorumlaması yapılmaktadır.  $\tilde{D}_j^{def} + \tilde{R}_i^{def}$  değeri ile kriterlerin önem dereceleri hakkında fikir elde edilmektedir. Kriterlerin ne kadar önemli olduklarını gösteren bu değer sisteme gönderilen ve alınan etkinin toplamını ifade etmektedir.

$\tilde{D}_j^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değeri ise kriterleri neden sonuç kümeleri olarak sınıflandırmakta ve ilişki olarak tanımlanmaktadır. Pozitif olarak bulunan  $\tilde{D}_j^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değerlerinin ait olduğu kriterler diğer kriterler üzerinde etki sahibi olan ve etkileyen grupta yer alan kriterleri tespit etmeyi sağlamaktadır. Negatif olan  $\tilde{D}_j^{def} - \tilde{R}_i^{def}$  değerlerinin ait olduğu kriterler ise diğer kriterlerden etkilenen grubu temsil etmektedir (Tzeng & Huang, 2011; Jassbi ve ark., 2011; Çınar, 2013; Mavi & Standing, 2018).

*Adım 8: Ağırlıkların hesaplanması.* Kriterlerin diğer kriterlere göre önem düzeyi ve ağırlığı Formül (11) ve Formül (11a) kullanılarak tespit edilmektedir. Bulunan sonuçlar Eşitlik (12) ile kontrol edilmektedir (Jassbi ve ark., 2011).

$$w_i = \{(\tilde{D}_i^{def} + \tilde{R}_i^{def})^2 + (\tilde{D}_i^{def} - \tilde{R}_i^{def})^2\}^{1/2} \quad (11)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (11a)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (12)$$

### 3.3. TOPSIS Yöntemi

Çalışmada yapılan problem tanımlamasının ikinci aşaması olan konteyner terminalerinde yaşanan iş kazalarına yönelik belirlenen alternatiflerin önceliklendirilmesinin değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Alternatiflerin önem derecesine göre değerlendirilerek bir sıralama yapmayı amaçlayan TOPSIS yöntemi yedi adımdan oluşmaktadır ve Tablo 4'te metodoloji akış şeması gösterilmiştir.

Tablo 4. TOPSIS Yöntemi Akış Şeması

Adım 1	Karar matrisinin ( $D$ ) oluşturulması
Adım 2	Normalize matrisin ( $R$ ) oluşturulması
Adım 3	Ağırlıklandırılmış normalize matrisin ( $V$ ) elde edilmesi
Adım 4	Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi
Adım 5	Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklık değerlerinin hesaplanması
Adım 6	İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması
Adım 7	Alternatiflerin sıralanması

Karar matrisinin oluşturulması adımı ile başlayan yöntemde normalize matrisin oluşturulması, ağırlıklandırılmış normalize matrisin oluşturulması, pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin hesaplanması şeklinde ilerlenmektedir. Son adım olarak yöntemin amacına ulaşarak alternatiflerin sıralanması gerçekleştirilmektedir.

*Adım 1: Karar matrisinin ( $D$ ) oluşturulması.* Çok kriterli karar verme probleminin  $m$  tane alternatifi ( $A_1, A_2, \dots, A_m$ ) ve  $n$  tane kriterinin ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) olduğu varsayıldığı durumda alternatiflerin satırda kriterlerin sütunda yer aldığı ve uzman karar vericiler tarafından her alternatifi her bir kritere göre değerlendirilmesi sonucunda elde edilen matris Eşitlik (13) gibi görünmektedir (Monjezi ve ark., 2012);

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (13)$$

*Adım 2: Normalize matrisin (R) oluşturulması.* İlk adımda elde edilen karar matrisi Formül (14) ile normalize edilmekte ve Eşitlik (15)'te görülen R matrisi elde edilmektedir (Monjezi ve ark., 2012);

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, n) \text{ ve } (j = 1, \dots, m) \quad (14)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

*Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize matrisin (V) elde edilmesi.* Bu adımda Formül (11a) ile elde edilen kriter ağırlıkları (W) ile R matrisinde yer alan her bir değer çarpılarak V matrisi elde edilmektedir. Çarpma işlemi Formül (16) ile uygulanmakta ve elde edilen V matrisi Eşitlik (17)'de olduğu gibi görünmektedir (Monjezi ve ark., 2012);

$$v_{ij} = w_i \times r_{ij} \quad (j = 1, \dots, n) \text{ ve } (i = 1, \dots, m) \quad (16)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ v_{n1} & \dots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (17)$$

*Adım 4: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi.* Pozitif ideal ( $A^+$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) çözüm değerleri Formül (18) ve Formül (19) kullanılarak elde edilmektedir (Monjezi ve ark., 2012);

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_j v_{ij} | i \in I), (\min_j v_{ij} | i \in J)\} \quad (18)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_j v_{ij} | i \in I), (\max_j v_{ij} | i \in J)\} \quad (19)$$

*Adım 5: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklık değerlerinin hesaplanması.* Alternatifler için ayırma ölçülerini hesaplamak n boyutlu Öklid uzaklığı ile yapılmaktadır. Pozitif ideal çözüme uzaklık ( $S_j^+$ ) ile gösterilmekte ve Formül (20) kullanılarak elde edilmektedir. ( $S_j^-$ ) ifadesi ise negatif ideal çözüme uzaklığı tanımlamaktadır. Negatif ideal çözüme uzaklık Formül (21) kullanılarak elde edilmektedir (Monjezi ve ark., 2012);

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2} \quad j = 1, \dots, n \quad (20)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad j = 1, \dots, n \quad (21)$$



*Adım 6: İdeal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması.* Bu adımda pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktaları kullanılarak ideal çözüme görelî yakınlık değerleri elde edilmektedir. Bu sonuca ulaşabilmek için Formül (22) kullanılmaktadır (Monjezi ve ark., 2012);

$$C_j = \frac{S_j^-}{S_j^+ + S_j^-} \quad j = 1, \dots, n \quad (0 \leq C_j \leq 1) \quad (22)$$

*Adım 7: Alternatiflerin sıralanması.* Son adımda alternatifler, ideal çözüme görelî yakınlıkları dikkate alınarak sıralanmaktadır.  $C_j$  değeri ne kadar yüksek ise alternatif o derece idealdir. En uygun alternatif, ideal çözüme en yakın olan değer bulunarak tespit edilmektedir (Tong & Su, 1997).

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Konteyner terminallerinde iş kazalarının nedenleri ve belirlenen alternatifler literatürden elde edilmiştir. Kocaeli Liman Bölgesinde bulunan konteyner terminallerinde çalışmakta olan 7 iş güvenliği uzmanının görüşleri doğrultusunda oluşturulan karar matrisleri ile analiz formatına uyarlanmıştır. Kocaeli Liman Bölgesinde faaliyet gösteren konteyner terminallerinde görev yapan iş güvenliği uzmanlarının görüşleri Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'nun 04.01.2022 tarihli ve E-10017888-100-165332 sayılı onayı ile alınmıştır. Katılımcı olarak seçilen 7 iş güvenliği uzmanının yaş ortalaması 41 iken sektördeki çalışma tecrübeleri ortalaması 13 yıldır. Katılımcıların eğitim düzeyleri 4 lisans, 2 yüksek lisans ve 1 ön lisans şeklindedir.

##### 4.1. Kriterlerin Bulanık DEMATEL Yöntemi ile Analiz Edilmesi

Elde edilen bulgular arasından öncelikle 5 ana kritere ait veriler bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenlerinin birbiri arasındaki neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Kriterler, analiz adımlarında sadeliği sağlayabilmek adına kısaltma kodları ile tanımlanmış ve her bir kriter için tanımlanan kısaltma kodları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Kriterlere Ait Kısaltma Kodları

Kod	Açıklama
C1:	Çalışan kaynaklı iş kazaları
C2:	Yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları
C3:	Çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları
C4:	Ekipman kaynaklı iş kazaları
C5:	Yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları

*Adım 1: Karar vericilerin belirlenmesi:* Ulusal ve uluslararası literatürden elde edilen teorik bilgiler bulanık DEMATEL yöntemi formatına uyarlanarak uygulama aşamasında Kocaeli Liman Bölgesinde bulunan konteyner terminallerinde görev yapan 7 iş güvenliği uzmanına uygulanan anket çalışması ile desteklenmiştir. Karar vericilerin belirlenmesinde iş güvenliği uzmanlarının konteyner terminallerinde çalışıyor olması kriter olarak değerlendirilmiştir.

*Adım 2: Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve bulanık skalanın oluşturulması:* Değerlendirme kriterleri ulusal ve uluslararası yapılmış çalışmalardan elde edilmiştir. Her bir katılımcının anket sorularına verdikleri cevaplar Tablo 1. kullanılarak üçgen bulanık değerlere

çevrilmiştir. Bu aşamada amaç, yöneltilen sorulara verilen cevaplarda öznel yargılardan kaynaklanabilecek yanılıgıları ortadan kaldırarak etkili sonuçlar elde etmektir.

*Adım 3: Başlangıç direkt ilişki matrisinin (Z) oluşturulması:* Karar vericiler tarafından kurulan kriterler arasındaki ikili ilişkilerin değerlendirilmesi işlemi bu adımda gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada bir önceki adımda uygulanan değerlerin üçgen bulanık değerlere çevrilmesi işlemi her bir katılımcı için uygulanmıştır.

*Adım 4: Normalize edilmiş direkt ilişki matrisi (X) oluşturulması:* Bu adımda amaç kriterleri karşılaştırılabilir ölçeğe dönüştürmektir. Bunun için öncelikle doğrusal skala transformasyon yöntemi kullanılmıştır. Böylece 7 tane karar vericiden elde edilen karar matrisleri Formül (2) kullanılarak bulanık ortalama işlemine tabi tutulmuştur. 4. adımın ikinci aşamasında bulanık ortalama matrisi Formül (4) ve Formül (5) kullanılarak normalize edilmiştir. Bu işlem dizisinde ilişki matrisinde bulunan u sütunları toplanmış ve bulunan sonuçlar arasındaki maksimum değer bulunmuştur. Toplanan u sütunları arasından maksimum değer, 3,21875 olarak elde edilmiş ve r olarak tanımlanmıştır. Elde edilen normalize bulanık direkt ilişki matrisi Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Kriterlere Ait Normalize Direkt İlişki Matrisi (X)

X	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0	0	0,078	0,011	0,078	0,155	0,166	0,233	0,277	0,1	0,178	0,255	0,211	0,288	0,311
C2	0,144	0,222	0,266	0	0	0,078	0,1	0,178	0,244	0,122	0,2	0,277	0,111	0,189	0,255
C3	0,122	0,2	0,266	0,089	0,155	0,233	0	0	0,078	0,144	0,222	0,266	0,111	0,189	0,255
C4	0,155	0,233	0,288	0,1	0,166	0,222	0,166	0,244	0,288	0	0	0,078	0,122	0,2	0,266
C5	0,178	0,255	0,288	0,089	0,166	0,233	0,089	0,166	0,244	0,133	0,211	0,266	0	0	0,078

*Adım 5: Toplam bulanık direkt ilişki matrisinin (T) oluşturulması:* Analizin bu adımında mevcut kriterler arasında etkileyen-etkilenen modelinin kurulabilmesi adına Formül (7) uygulanmıştır. l, m, u değerlerinin her biri için ayrı bir matris oluşturulmuş ve oluşturulan her bir matrise Formül (7) uygulanmıştır. İşlem sonucunda toplam bulanık direkt ilişki matrisi oluşturulmuş ve Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. Kriterlere Ait Toplam Bulanık Direkt İlişki Matrisi (T)

T	C1			C2			C3			C4			C5		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0	0	-0,096	0,0009	0,0424	-0,264	0,0425	0,1954	-0,549	0,0199	0,1402	-0,511	0,0631	0,2627	-0,625
C2	0,036	0,1985	-0,575	0	0	-0,065	0,0202	0,1437	-0,508	0,026	0,1621	-0,573	0,0243	0,1604	-0,544
C3	0,0281	0,1724	-0,564	0,0127	0,0927	-0,39	0	0	-0,092	0,0331	0,1805	-0,542	0,0239	0,1573	-0,534
C4	0,0423	0,2195	-0,628	0,016	0,1067	-0,387	0,0447	0,2181	-0,602	0	0	-0,099	0,0295	0,1792	-0,575
C5	0,0495	0,2364	-0,611	0,0127	0,103	-0,394	0,0175	0,1349	-0,503	0,0297	0,1743	-0,547	0	0	-0,098

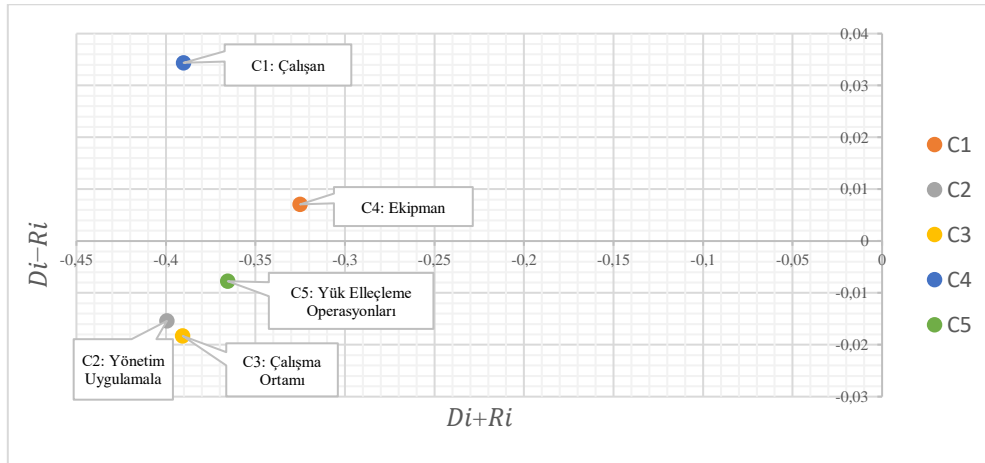
*Adım 6: Değerlerin durulaştırılması işlemi:* Bu adımda öznel yargı yanılıgılarından kaçınmak adına bulanıklaştırılan değerlerin durulaştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle toplam bulanık direkt ilişki matrisinde yer alan sütun elemanları değerlerinin toplamı ile  $\tilde{D}_i$  değeri, satır elemanları değerleri toplamı ile  $\tilde{R}_i$  değeri elde edilmiştir. Elde edilen değerler ile  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  işlemleri kullanılarak yeni bir matris elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen matrise Formül (9) ve Formül (10) uygulanarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de kriterlere ait durulaştırılmış ilişki matrisi sunulmuştur.

Tablo 8. Durulaştırılmış İlişki Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5
$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$	-0,325	-0,399	-0,390	-0,390	-0,365
$\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$	0,007	-0,015	-0,018	0,034	-0,007

Bu aşamada elde edilen  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  değerleri kriterlerin ilişki düzeylerini ifade etmektedir. Bu doğrultuda kriterler arasında etkileşim düzeyi en yüksek olan kriter “çalışan kaynaklı iş kazaları (C1)” olarak tespit edilmiştir. Etkileşim düzeyi sıralamasının, “yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları (C5)”, “ekipman kaynaklı iş kazaları (C4)”, “çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları (C3)” ve “yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları (C2)” şeklinde devam ettiği görülmüştür. Bu kapsamda “çalışan kaynaklı iş kazaları (C1)” kriterinin dış faktörlere bağımlılıkta yüksek düzeyde olduğu söylenebilmektedir. Dolayısıyla çalışmanı etkileyen her türlü dış faktöre ilişkin yapılacak iyileştirme çalışmaları çalışan kaynaklı iş kazalarının yaşanmasında olumlu getiriler sağlayacaktır. “Yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları (C2)” kriteri ise dış faktörlerden etkilenme düzeyi en düşük olan kriter olarak tespit edilmiştir.

*Adım 7: Neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi:* Bu aşamada  $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$  ve  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerlerine ait ilişki diyagramı oluşturulmuştur.



Şekil 1. Kriterlere Ait Neden Sonuç Diyagramı

Bu aşamada kriterlerin neden sonuç ilişkilerinin belirlenmesi ve etkileyen, etkilenen şeklinde kategorize edilebilmesi adına  $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$  değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu doğrultuda Şekil 1’de görüldüğü üzere konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri arasında sayılan “çalışan kaynaklı iş kazaları (C1)” ve “ekipman kaynaklı iş kazaları (C4)” kriter grupları diğer kriterleri etkileyen faktörler arasında yer aldığı görülürken “yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları (C2)”, “çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları (C3)” ve “yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları (C5)” kriter grupları diğer kriterlerden etkilenen grupta yer aldığı görülmüştür.

*Adım 8: Kriter ağırlıklarının hesaplanması:* Kriterlerin diğer kriterler üzerindeki ağırlık dereceleri Formül (11) ve Formül (11a) kullanılarak tespit edilmiş ve Tablo 9’da gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar Eşitlik (7.12) doğrultusunda kontrol edilmiş ve analiz sürecinin doğru ilerlediği bu şekilde ispat edilmiştir.

Tablo 9. Kriter Ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5
$W_i$	0,149	0,226	0,216	0,217	0,189

Elde edilen kriter ağırlıkları incelendiğinde yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazalarının ağırlığının en yüksek değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.2. Alt Kriterlerin Bulanık DEMATEL Yöntemi ile Analiz Edilmesi

Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının nedenlerine ilişkin kriterler bir önceki başlıkta açıklanmış ve bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ardından 5 ana kritere ait 17 alt kriter belirlenmiş ve bulanık DEMATEL tekniği ile analiz edilmiştir. Analiz sürecinde daha önce açıklanan 8 adım her bir ana kriter grubu üzerinde uygulanmıştır. Her bir alt kriter grubu ve her bir alt kriter bir kısaltma kodu ile tanımlanmış ve kısaltma kodları Tablo 10’da aktarılmıştır.

Tablo 10. Alt Kriter Grupları ve Alt Kriterlere Ait Kısaltma Kodları

Alt Kriter Grubu Kodu	Alt Kriter Kodu	Açıklama
G1 (Çalışan kaynaklı iş kazaları)	SC1	Tehlikeli Hareketler
	SC2	İş Güvenliği Kültürünün Benimsenememesi
	SC3	Fiziksel ve Ruhsal Sağlık Problemleri
G2 (Yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları)	SC4	Ulusal ve Uluslararası Mevzuatın Uygulanmaması
	SC5	İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Etkin Olmaması
	SC6	Yönetimsel Denetim Eksiklikleri
G3 (Çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları)	SC7	Ergonomik Koşullara Uyulmaması
	SC8	Fiziksel Risk Etmenleri
	SC9	Kaygan Zemin
G4 (Ekipman kaynaklı iş kazaları)	SC10	Periyodik Bakım Eksiklikleri
	SC11	Ekipmanların Uygunsuzluğu veya Yetersizliği
	SC12	Kişisel Koruyucu Donanımların Kullanılmaması veya Yanlış Kullanılması
	SC13	Terminal İçerisindeki Trafik
G5 (Yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları)	SC14	Yükleme-Boşaltma Uygunsuzlukları
	SC15	Tehlikeli Yüklerde Elleçleme Uygunsuzlukları
	SC16	Depolama Alanının Yetersizliği
	SC17	Hasarlı Konteyner Elleçleme

Alt kriterlerde bulanık DEMATEL yönteminin tüm adımlarının uygulanmasının ardından neden sonuç ilişkileri belirlenmiştir. Bu kapsamda yürütülen analiz sonucuna göre çalışan kaynaklı iş kazaları grubunda yer alan “iş güvenliği kültürünün benimsenememesi (SC2)” ve “fiziksel ve ruhsal sağlık problemleri (SC3)” alt kriterleri “tehlikeli hareketler (SC1)” alt kriterini etkileyen rol oynarken “tehlikeli hareketler (SC1)” alt kriteri ise diğer alt kriterlerden etkilenen grupta yer aldığı

tespit edilmiştir. Yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları grubunda yer alan “yönetimsel denetim eksiklikleri (SC6)” alt kriteri “ulusal ve uluslararası mevzuatın uygulanmaması (SC4)” ve “iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkin olmaması (SC5)” alt kriterlerini etkileyen grupta yer aldığı görülmüştür. Üçüncü grup olarak incelenen çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları arasında yer alan “fiziksel risk etmenleri (SC8)” alt kriterinin “ergonomik koşullara uyulmaması (SC7)” ve “kaygan zemin (SC9)” alt kriterleri üzerinde etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Ekipman kaynaklı iş kazaları kriterinin altında incelenen “ekipmanların uygunsuzluğu veya yetersizliği (SC11)” ve “kişisel koruyucu donanımların kullanılmaması veya yanlış kullanılması (SC12)” alt kriterleri grup içi diğer kriterleri etkilediği görülürken “periyodik bakım eksiklikleri (SC10)” ve “terminal içerisindeki trafik (SC13)” alt kriterlerinin (SC11) ve (SC12) alt kriterlerinden etkilendiği görülmüştür. Son olarak yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları altında değerlendirilen “depolama alanının yetersizliği (SC16)” ve “hasarlı konteyner elleçleme (SC17)” grup içi diğer kriterleri etkileyen grupta yer aldığı görülmüşken “yükleme-boşaltma uygunsuzlukları (SC14)” ve “tehlikeli yüklerde elleçleme uygunsuzlukları (SC15)” alt kriterlerinin diğer kriterlerden etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Alt kriterlere ait ilgili formüller uygulanarak elde edilen alt kriter ağırlıkları Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Alt Kriter Ağırlıkları

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
$W_i$	0,654	0,313	0,034	0,274	0,325	0,4	0,365	0,354	0,282	0,249	0,331	0,24	0,18	0,109	0,24	0,349	0,301

Elde edilen alt kriterlere ait ağırlıklar incelendiğinde en yüksek değere sahip olan üç kriter sırasıyla “tehlikeli hareketler (SC1)”, “yönetimsel denetim eksiklikleri (SC6)” ve “ergonomik koşullara uyulmaması (SC7)” olduğu gözlemlenmiştir. Kriter ağırlıkları hususunda alt kriterler kendi aralarında değerlendirildiğinde ana kriterlere ait gruplandırmalardan farklı sonuçlar elde edilmesinin sebebi ana kriterlerin kendi aralarında ve alt kriterlerin kendi aralarında analiz edilmesidir. Bu doğrultuda konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenlerine ait alt kriterlerin arasında tehlikeli hareketler, yönetimsel denetim eksiklikleri ve ergonomik koşullara uyulmaması konuları en baskın rol oynayan faktörler arasında olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra analiz sonucunda en zayıf etkiye sahip alt kriterlerin ise “fiziksel ve ruhsal sağlık problemleri (SC3)”, “yükleme-boşaltma uygunsuzlukları (SC14)” ve “terminal içerisindeki trafik (SC13)” olduğu gözlemlenmiştir.

Bulunan sonuçlar Eşitlik (12) doğrultusunda kontrol edilmiş ve analiz sürecinin doğru ilerlediği bu şekilde ispat edilmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları analiz aşamasının üçüncü kısmını oluşturan TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

### 4.3. Alternatiflerin TOPSIS Yöntemi ile Analiz Edilmesi

Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının nedenlerine yönelik 5 adet alternatif TOPSIS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir alternatif bir kısaltma kodu ile tanımlanmış ve kısaltma kodları Tablo 12’de aktarılmıştır.

Tablo 12. Alternatiflere Ait Kısaltma Kodları

Kod	Açıklama
A1	İSG Eğitimleri Etkinliğinin Arttırılması
A2	Güvenlik Liderliğini Geliştirmek ve Sürdürme
A3	Terminal Proseslerinde Dijitalleşme
A4	Çalışma Alanında 5S ve 6S Kuralları Kapsamında Düzenlemeler
A5	İSG Denetimlerinin Etkinliğinin Arttırılması

*Adım 1: Karar matrisinin (D) oluşturulması:* Konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarının önlenmesi veya etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla uygulanması gerekli olan 5 adet alternatif çözüm önerisi ulusal ve uluslararası literatürden elde edilmiştir. Birinci adım olan karar matrisinin oluşturulmasında kullanılan anket formu, alternatiflerin satırda alt kriterlerin sütunda yer aldığı ve uzman karar vericiler tarafından her alternatifin her bir kriterine göre değerlendirilmesini kapsamaktadır.

*Adım 2: Normalize matrisin (R) oluşturulması:* İlk adımda elde edilen karar matrisi Formül (14) kullanılarak normalize edilmiştir. Bu adımın amacı verileri tek bir matriste toplamak ve işlem adımlarını oluşturulan matris üzerinden daha kolay şekilde ilerletebilmektir. Alternatiflere ait normalize edilmiş matris Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. Alternatiflere Ait Normalize Matris (R)

R	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
A1	0,151	0,138	0,08	0,099	0,123	0,095	0,084	0,078	0,102	0,08	0,086	0,141	0,078	0,125	0,121	0,071	0,091
A2	0,141	0,141	0,117	0,121	0,115	0,141	0,099	0,102	0,076	0,121	0,121	0,123	0,104	0,136	0,136	0,082	0,112
A3	0,095	0,093	0,05	0,112	0,084	0,086	0,073	0,078	0,035	0,136	0,093	0,071	0,095	0,115	0,108	0,08	0,084
A4	0,128	0,136	0,08	0,089	0,097	0,106	0,121	0,106	0,128	0,123	0,099	0,091	0,104	0,099	0,11	0,11	0,097
A5	0,145	0,13	0,091	0,11	0,123	0,136	0,108	0,108	0,117	0,104	0,123	0,136	0,106	0,128	0,117	0,082	0,108

*Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize matrisin (V) elde edilmesi:* Bu adımda Formül (11a) ile elde edilen alt kriterlere ait ağırlıklar (W) ile R matrisinde yer alan her bir değer çarpılarak V matrisi elde edilmiştir. Çarpma işlemi Formül (16) ile uygulanmış ve elde edilen V matrisi Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Alternatiflere Ait Ağırlıklandırılmış Normalize Matris (V)

V	A1	A2	A3	A4	A5
SC1	0,099	0,092	0,062	0,083	0,095
SC2	0,043	0,044	0,029	0,043	0,041
SC3	0,003	0,004	0,002	0,003	0,003
SC4	0,027	0,033	0,031	0,024	0,03
SC5	0,04	0,037	0,027	0,032	0,04
SC6	0,038	0,056	0,035	0,042	0,054
SC7	0,031	0,036	0,027	0,044	0,039
SC8	0,028	0,036	0,028	0,037	0,038
SC9	0,029	0,021	0,01	0,036	0,033
SC10	0,02	0,03	0,034	0,031	0,026
SC11	0,029	0,04	0,031	0,033	0,041
SC12	0,034	0,03	0,017	0,022	0,033

SC13	0,014	0,019	0,017	0,019	0,019
SC14	0,014	0,015	0,012	0,011	0,014
SC15	0,029	0,033	0,026	0,027	0,028
SC16	0,025	0,029	0,028	0,039	0,029
SC17	0,027	0,034	0,025	0,029	0,033

*Adım 4: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm değerlerinin elde edilmesi:* Pozitif ideal ( $A^+$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) çözüm değerleri Formül (18) ve Formül (19) kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 15. ile aktarılmıştır.

Tablo 15. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

	SC1	SC2	SC3	SC4	SC5	SC6	SC7	SC8	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15	SC16	SC17
( $A^+$ )	0,099	0,044	0,004	0,033	0,04	0,056	0,044	0,038	0,036	0,034	0,041	0,034	0,019	0,015	0,033	0,039	0,034
( $A^-$ )	0,062	0,029	0,002	0,024	0,027	0,035	0,027	0,028	0,01	0,02	0,029	0,017	0,014	0,011	0,026	0,025	0,025

*Adım 5: Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklık değerlerinin hesaplanması:* Pozitif ideal çözüme uzaklık ( $S_j^+$ ), Formül (20) ve negatif ideal çözüme uzaklık ( $S_j^-$ ) Formül (21) uygulanarak elde edilmiştir. Her bir alternatife ait elde edilen ( $S_j^+$ ) ve ( $S_j^-$ ) değerleri Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16. Pozitif İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Noktalarına Uzaklık Değerleri

	( $S_j^+$ )	( $S_j^-$ )
A1	0,036	0,049
A2	0,021	0,051
A3	0,062	0,016
A4	0,029	0,046
A5	0,016	0,055

*Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması:* Bu adımda pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktaları kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık değerleri elde edilmiştir. Bu sonuca ulaşabilmek için Formül (22) kullanılmıştır.

*Adım 7: Alternatiflerin sıralanması:* Son adımda alternatifler, ideal çözüme göreli yakınlıkları dikkate alınarak sıralanmaktadır.  $C_j$  değeri ne kadar yüksek ise alternatif o derece idealdir. Alternatiflere ait sıralama Tablo 17'de görüldüğü gibidir.

Tablo 17. Alternatiflerin Sıralaması

Alternatif Kodu	Alternatif Açıklaması	Alternatif Değeri
A5	İSG Denetimlerinin Etkinliğinin Arttırılması	0,775
A2	Güvenlik Liderliğini Geliştirmek ve Sürdürme	0,702
A4	Çalışma Alanında 5S ve 6S Kuralları Kapsamında Düzenlemeler	0,611
A1	İSG Eğitimleri Etkinliğinin Arttırılması	0,573
A3	Terminal Proseslerinde Dijitalleşme	0,206

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri 5 kriter ve 17 alt kriter eşliğinde incelenmiş ve bulanık DEMATEL tekniği ile analiz edilmiştir. Sektörde yaşanan iş kazaları nedenleri doğrultusunda belirlenmiş 5 alternatif çözüm önerisi ise TOPSIS yöntemi ile önem düzeyine göre sıralanması amacıyla analiz edilmiştir. Çalışma Kocaeli Liman Bölgesinde bulunan konteyner terminallerinde uygulanmıştır.

Bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterlerin değerlendirilmesi sonucu konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri arasında ilk sırada yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları gelmektedir. Analiz sonucunda elde edilen neden sonuç diyagramına göre konteyner terminallerinde yaşanan iş kazaları nedenleri arasında belirlenen ve analiz edilen “çalışan kaynaklı iş kazaları (C1)” ve “ekipman kaynaklı iş kazaları (C4)” kriterlerinin grup içerisindeki diğer kriterler üzerinde etki sahibi olduğu görülmüştür. (C1) ve (C4) kriterlerinden etkilenen grupta ise “yönetim uygulamaları kaynaklı iş kazaları (C2)”, “çalışma ortamı kaynaklı iş kazaları (C3)” ve “yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazaları (C5)” kriterlerinin yer aldığı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda çalışan ve ekipman kaynaklı sebepler ile yaşanan iş kazalarının, yönetim uygulamaları, çalışma ortamı ve yük elleçleme operasyonları kaynaklı iş kazalarını tetiklediği söylenebilir.

Uygulamanın ikinci aşamasında 5 ana kriter grubu altında incelenen toplam 17 alt kriter bulanık DEMATEL yöntemi ile analiz edilmiş ve alt kriter ağırlıkları tespit edilmiştir. Tüm kriterlere ait kriter ağırlıkları üçüncü adım uygulamada kullanılmak üzere analiz edilmiştir.

Uygulamanın üçüncü aşamasında önceden belirlenen ve karar vericiler tarafından değerlendirilmeye alınan 5 alternatif, TOPSIS yöntemi ile analiz edilmiş ve önem derecelerine göre sıralanmıştır. Uygulama için belirlenen konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarını önlemeye yönelik alternatifler arasında en ideal alternatif iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması olarak tespit edilmişken ardından önem düzeyine göre alternatifler sırasıyla güvenlik liderliğinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi, çalışma alanında 5S ve 6S kuralları kapsamında düzenlemelerin hayata geçirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkinliğinin artırılması ve terminal proseslerinde dijitalleşme şeklinde sıralanmıştır.

Yapılan sıralamaya göre konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarını önlemek adına “iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılması” büyük önem arz etmektedir. Denetim mekanizmasının iyileştirilmesi için denetimlerde rol oynayan devlet, kurum, işveren, çalışan, denetçi gibi tarafların denetim amacını doğru anlamaları gerekmektedir. Denetimlerin tarafsız şekilde gerçekleştirilmesi de bu noktada önemlidir. Bunun yanı sıra konuya ilişkin kanıksama olmaması adına denetim sıklığının uygun şekilde planlanması gerekmektedir. Konteyner terminallerinde gerçekleştirilen iş sağlığı ve güvenliği denetimlerinin etkinliğinin artırılabilmesi adına denetim hazırlık sürecinin sürekli canlı tutulması, saha ve dokümantasyon faaliyetlerinde mevzuata uygunluğun sürekli olarak incelenmesi, değerlendirilmesi ve sürekli iyileştirme çalışmalarının sürdürülmesi gerekmektedir.

Yapılan alternatif sıralamasında ikinci sırada geldiği tespit edilen “güvenlik liderliğinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi” faktörü, sektörde güvenlik kültürünün henüz oluşturulamamış olmasından kaynaklı bir liderliğe ihtiyacın söz konusu olduğunu düşündürmüştür. Bu doğrultuda her bir çalışanın güvenlik liderliği görevini üstlenebilmesi ve farkındalık yaratılabilmesi adına çeşitli çalışmalar yürütülebilir.

Üçüncü sırada yer alan “çalışma alanında 5S ve 6S kuralları kapsamında düzenlemelerin” sağlanması alternatifine ilişkin faaliyetlerin sektöre yeni bir soluk getireceği düşünülmektedir. Bu



alternatifte 5S kurallarının yanı sıra 6S olarak güvenliğin de ön plana çıkarılması çalışma ortamına ilişkin iş kazalarını minimum seviyeye düşürme potansiyeline sahiptir.

“İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkinliğinin artırılması” alternatifinin dördüncü sırada yer alması konteyner terminallerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerine oldukça önem verildiğinin ve halihazırda bu eğitimlerin yüksek verimlilikte sağlandığının bir göstergesidir.

Alternatiflerin belirlenmesi aşamasında, “terminal proseslerinde dijitalleşme” alternatifinin konteyner terminallerinde iş kazalarını azaltacağı yöndeki etkisinin daha yüksek çıkacağı düşünülmüştür. Buna karşın yapılan anket çalışması aracılığıyla iş güvenliği uzmanlarından alınan görüşler sonrasında elde edilen bulguların analiz edilmesi sonucunda terminal proseslerinde dijitalleşme alternatifinin son sırada olduğu tespit edilmiştir. Bu sonucun sebebine ilişkin uzmanlar tarafından anket soruları cevaplanırken, dijitalleşme faaliyetleri sonrası iş gücünde azalma olabileceği dolayısıyla sektörde iş güvenliği uzmanı ihtiyacının da azalabileceği düşüncesinin etkili olması ihtimali üzerine bir çıkarım yapılabilir. Bunun yanı sıra terminal proseslerinde dijitalleşme alternatifinin sıralamanın sonunda yer alması, sektörün iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında dijitalleşmeye henüz hazır olmadığı sonucunu gözler önüne sermiştir.

Çalışmada bulanık DEMATEL ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılmasının amacı, büyük, karmaşık ve öznel yargılardan oluşan verilerin çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan bulanık DEMATEL ve TOPSIS yöntemleri ile objektif ve genellenebilir sonuçlar elde edilebilmesidir.

Literatür incelendiğinde liman işletmelerinde ve konteyner terminaleri özelinde yaşanan iş kazalarının bulanık DEMATEL yöntemi ve iş kazalarına sunulan alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada konteyner terminal işletmelerine ve araştırmacılara sunulacak önerilerin sektöre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma çeşitli kısıtlara sahiptir. Çalışma Kocaeli Liman Bölgesinde faaliyet gösteren konteyner terminallerinde uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan bulgular literatürden elde edilen veriler ile Kocaeli Liman Bölgesinde faaliyet gösteren konteyner terminallerinde çalışmakta olan iş güvenliği uzmanlarının görüşlerinden elde edilmiştir.

Wu ve Huang (2019) tarafından yürütülen çalışmada Tianjin Limanı yangın ve patlama kazası incelenmiştir. Çalışmada kazanın kök nedeninin güvenli olmayan davranış sergileme olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda iş kazaları nedenleri arasında insan faktörü üzerinde durmuştur. Bu çalışmada iş kazaları nedensellik analizinde elde edilen sonuçlara göre konteyner terminallerinde yaşanan çalışan kaynaklı iş kazaları belirlenen diğer iş kazaları nedenleri arasında kriter ağırlığı en düşük faktör olmasına karşın diğer kriterler üzerinde etki sahibi olduğu tespit edilmiştir.

Danacı (2017) yürüttüğü çalışmada limanları iş sağlığı ve güvenliği kapsamında incelemiştir. Çalışma için gerekli veriler liman işletmeleri, işverenleri veya işveren vekilleri üzerinde uygulanan anket ve açık uçlu soruları cevaplama çalışmaları ile elde edilmiştir. Çalışanların kazalara yönelik önlemlerin alınması adına yöneticilerden beklenti duymaları buna rağmen bildirim konusunda yaşanan uygunsuzluklar işletmelerde yönetici-çalışan kanalında iletişim eksikliği olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarına sunulan alternatifler arasında yer alan analiz sonucunda önem derecesi bakımından ikinci sırada yer alan güvenlik liderliğinin geliştirilmesi, konteyner terminallerinde çalışanlar ve güvenlik liderleri arasındaki iletişimin güçlendirilmesi gerekliliğini göstermektedir. Limanlarda yapılan çalışmanın sonuçları konteyner terminallerinin incelendiği bu çalışmanın sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Andriani ve ark. (2019) tarafından yürütülen çalışmada bağlantı noktalarının yarı otomatik çalıştığı bir yeşil liman terminallerinde kullanılan ve minimum insan gücü ile yürütülen operasyonlar incelenmiştir. Çalışmada, insan gücünün minimum seviyede tutulmasına karşın iş kazalarının azalmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada konteyner terminallerinde yaşanan iş kazalarını önleyebilmek adına geliştirilen alternatifler arasında yer alan terminal proseslerinde dijitalleşme hususu, görüşleri alınan iş güvenliği uzmanları tarafından yapılan alternatif sıralamasında son sırada seçilmiştir. Bu doğrultuda hem iş kazalarında azalma görülmemesi hem de iş güvenliği uzmanlarının görüşleri denizcilik sektörünün dijitalleşmeye henüz hazır olmadığını desteklemiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Çalışmada literatür araştırması, kriter ve alternatiflerin belirlenmesi, verilerin analizi ve sonuç bölümlerinde yazar Kübra GÜÇLÜ katkı sağlamıştır. Çalışmanın tasarlanması, kriter ve alternatiflerin belirlenmesi, düzeltme, düzenleme ve kontrol konusunda yazar Murat YORULMAZ destek sağlamıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Etik Kurul Onay Beyanı**

Kocaeli Liman Bölgesinde faaliyet gösteren konteyner terminallerinde görev yapan iş güvenliği uzmanlarının görüşleri Kocaeli Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu'nun 04.01.2022 tarihli ve E-10017888-100-165332 sayılı onayı ile alınmıştır.

## **KAYNAKLAR**

- Abdullah, L., Norsyahida, Z., Liao, H., Herrera-Viedma, E. & Al-Barakati, A. (2019). An interval-valued intuitionistic fuzzy DEMATEL method combined with Choquet integral for sustainable solid waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82, 207–215. DOI: 10.1016/j.engappai.2019.04.005.
- Akpınar, T. & Çakmakkaya, B. Y. (2014). İş sağlığı ve güvenliği açısından işverenlerin risk değerlendirme yükümlülüğü. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, 40, 273-304.
- Andriani, D. P., Novianti, V. D., Adnandy, R. & A'yunin, Q. (2019, 20-21 Mart). *Quantitative risk modelling of occupational safety in green-port*. 9th Annual Basic Science International Conference, Malang, Indonesia.
- Antão, P., Calderón, M., Puig, M., Michail, A., Wooldridge, C. & Darbra, R.M. (2016). Identification of occupational health, safety, security (OHSS) and environmental performance indicators in port areas. *Safety Science*, 85, 266-275. DOI:10.1016/j.ssci.2015.12.031.
- Asan, A. & Akasah, Z.A. (2015, 12 Mayıs). *Developing an accident causation model for accident prevention at building construction sites*. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference, Singapore.

- Atılğan, A., Ersen, N., Peker, H. & Kahraman, N. (2015, 10-12 Nisan). *Türkiye mobilya sanayinde iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesine ilişkin tavsiyeler*. 3. Ulusal Mobilya Kongresi. Konya, Türkiye.
- Bauk, S., Schmeink, A. & Colomer, J. (2017). Employing wireless networks in enhancing occupational safety at the developing seaport—two proposals, *Polish Maritime Research*, 30(4), 115-124.
- Bolat, P., Yüksel, G. & Uygur, S. (2016, 24-25 Kasım). *A study for understanding cyber security awareness among Turkish seafarers*. The Second Global Conference on Innovation in Marine Technology and the Future of Maritime Transportation, Muğla, Türkiye.
- Budiyanto, M. A. & Fernanda, H. (2020). Risk assessment of work accident in container terminals using the fault tree analysis method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 1-19. DOI:10.3390/jmse8060466.
- Caballini, C. & Paolucci, M. (2019). A rostering approach to minimize health risks for workers: An application to a container terminal in The Italian Port Of Genoa. *Omega-international Journal of Management Science*, 95, 15-33. DOI:10.1016/j.omega.2019.08.001.
- Chen, C.T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9. DOI:10.1016/S0165-0114(97)00377-1.
- Chen, D., Pei, Y. & Xia, Q. (2020). Research on human factors cause chain of ship accidents based on multidimensional association rules. *Ocean Engineering*, 218, 1-9. DOI:10.1016/j.oceaneng.2020.107717.
- Chen, Y. & Wang, Z. (2021, 21-22 Ağustos). *Accident causing theory in construction safety management*. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, Surabaya, Indonesia.
- Chlomoudis, C. I., Pallis, P. L. & Tzannatos, E. S. (2016). A risk assessment methodology in container terminals: The case study of the Port Container Terminal of Thessalonica, Greece. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 4, 251-258. DOI:10.17265/2328-2142/2016.05.004.
- Chlomoudis, C. I., Kostagiolas, P. A. & Pallis, P. L. (2012). An analysis of formal risk assessments for safety and security in ports: Empirical evidence from container terminals in Greece. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 2, 45-54.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. (2011). İş Teftişi Rehberi. Türkiye, [https://www.csgb.gov.tr/medias/6012/2011\\_46.pdf](https://www.csgb.gov.tr/medias/6012/2011_46.pdf) adresinden 12 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Çınar, Y. (2013). Kariyer tercihi probleminin yapısal bir modeli ve riske karşı tutumlar: Olasılıklı DEMATEL yöntemi temelli bütünlük bir yaklaşım. *Sosyoekonomi*, 19(19), 157-186.
- Danacı, A. (2017). *Türkiye'de liman işletmelerinde emniyet önlemleri üzerine bir inceleme*. [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

- Ding, J.F. & Tseng, W.J. (2012). Fuzzy risk assessment on safety operations for exclusive container terminals at Kaohsiung port in Taiwan. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 227(2), 208-220. DOI: 10.1177/1475090212457123.
- Fabiano, B., Currò, F., Reverberi, A.P.& Pastorino, R. (2010). Port safety and the container revolution: A statistical study on human factor and occupational accidents over the long period. *Safety Science*, 48(8), 980-990. DOI: 10.1016/j.ssci.2009.08.007.
- Fernandes, J. P., Godina, R. & Matias, J.C. (2018, 18-20 Temmuz). *Evaluating the impact of 5S implementation on occupational safety in an automotive industrial unit*. International Joint Conference On Industrial Engineering and Operations Management, Lisbon, Portugal.
- Gabus, A. & Fontela, E. (1973). Perceptions of the world problematique: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility DEMATEL. Battelle Geneva Research Centre, 1.
- Gul, M. (2020). Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: The case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit. *Int J Occup Saf Ergon*, 26(4), 705-718. DOI:10.1080/10803548.2018.1492251.
- Guneri, A. F., Gul, M. & Ozgurler, S. (2015). A fuzzy AHP methodology for selection of risk assessment methods in occupational safety. *Int. J. Risk Assessment and Management*, 18(3/4), 319-335. DOI:10.1504/IJRAM.2015.071222.
- Gupta, K. (2021). A review on implementation of 5S for workplace management. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*. 9(3), 323–330.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186, 58-191.
- Jassbi, J., Mohamadnejad, F. & Nasrollahzadeh, H. (2011). A fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5967-5973. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.026.
- Kadir, Z. A., Mohammed, R., Othman, N., Chelliapan, S. & Amrin A. (2017). Risk assessment of human risk factors in port accidents. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(11), 535–551.
- Karabulut, A. (2016). *Türkiye'de iş güvenliği denetimi sorunlar ve çözüm önerileri* [Yüksek Lisans Tezi]. T.C. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karadağ, T. & Kepekli, T. A. (2019). İnşaat sektöründe yaşanan iş kazaları ve kaza nedenleri. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 314-322.
- Li, R.J. (1999). Fuzzy method in group decision making. *Computers and Mathematics with Applications*, 91-101.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, New York.

- Lu, C. S. & Kuo, S.Y. (2016). The effect of job stress on self-reported safety behaviour in container terminal operations: The moderating role of emotional intelligence. *Transportation Research Part F*, 37, 10-26. DOI: 10.1016/j.trf.2015.12.008.
- Lu, C. S. & Shang, K.C. (2005). An empirical investigation of safety climate in container terminal operators. *Journal of Safety Research*, 36(3), 297-308. DOI: 10.1016/j.jsr.2005.05.002.
- Marayong, P., Yeh, H., Coronado, E., Ganji, V. & Chaudhari, A. (2012). Computer-Aided container handling assistance for ergonomic crane operation. *California State University*. 1-23.
- Manu, P., Ankrah, N., Proverbs, D., Suresh, S. & Ahadzie, D. (2010). How and to what extent do construction project features contribute to accident causation? An insight for accident prevention. *West Africa Built Environment Research (WABER) Conference*, Accra, 27-28 Temmuz.
- Mavi, R. K. & Standing, C. (2018). Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. *Journal of Cleaner Production*, 194, 751-765. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.120.
- Mollaoğlu, M., Bucak, U. & Demirel, H. (2019). A quantitative analysis of the factors that may cause occupational accidents at ports. *Journal of ETA Maritime Science*, 7(4), 294-303. DOI: 10.5505/jems.2019.15238.
- Monjezi, M., Dehghani, H., Singh, T., Sayadi, A. & Gholinejad, A. (2012). Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design. *Arabian Journal of Geosciences*, 5, 95-101. DOI: 10.1007/s12517-010-0133-2.
- Nævestad, T. O., Phillips, R., Størkersen, K., Laiou, A. & Yannis, G. (2019). Safety culture in maritime transport in Norway and Greece: Exploring national, sectorial and organizational influences on unsafe behaviours and work accidents. *Marine Policy*, 99, 1-13. DOI:10.1016/j.marpol.2018.10.001.
- Osada, T. (1991). The 5S's, five keys to a total quality environment. *Asian Productivity Organization*, Tokyo.
- OSHA. (2013). Working Safely while repairing intermodal containers in marine terminals. <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3626.pdf> adresinden 13 Aralık 2021 tarihinde alınmıştır.
- Özdemir, Ü. (2016). Bulanık DEMATEL ve bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak limanlarda yaşanan iş kazalarının incelenmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 4(3), 235-247.
- Qiao, W., Liu, Y., Ma, X. & Liu, Y. (2020). A methodology to evaluate human factors contributed to maritime accident by mapping fuzzy FT into ANN based on HFACS. *Ocean Engineering*, 197(1), 1-18. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106892.
- Samuel, W., Hamid, R. A. & Misnan, M.S. (2017). Analysis of fatal building construction accidents: Cases and causes. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 4(8), 8030-8040.

- Shang, K. C., Yang, C. S. & Lu, C. S. (2011). The effect of safety management on perceived safety performance in container stevedoring operations. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 3(3), 323-341.
- Shikha, V. & Sharad, C. (2016). Highlights from the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: A review of past contributions, recent developments and future scope. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(4), 691-702. DOI:10.1016/j.ijmst.2016.05.023.
- Solmaz, M. S., Erdem, P. & Barış, G. (2020). The effects of safety culture on occupational accidents: An explanatory study in Container Terminals of Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(3), 356-364. DOI: 10.30897/ijegeo.749735.
- Shyjith, K., Ilangkumaran, M. & Kumanan, S. (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386.
- Sunaryo, Hamka, M.A. (2017). Safety risks assessment on container terminal using hazard identification and risk assessment and fault tree analysis methods. *Procedia Engineering*, 194, 307-314. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.150.
- Suraji, A., Duff, A. R. & Peckitt, S. J. (2001). Development of causal model of construction accident causation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4), 337-344.
- Tong, L.I. & Su, C. T. (1997). Optimizing multi-response problems in the Taguchi method by fuzzy multiple attribute decision making. *Quality and Reliability Engineering International*, 13(1), 25-34.
- Töz, A.C. & Köseoğlu, B. (2015, 5-6 Kasım). *Denizcilikte iş sağlığı ve iş emniyeti: Limanlar üzerine genel bir değerlendirme*. II. Ulusal Liman Kongresi, İzmir.
- Tzeng, G. H. & Huang, J.J. (2011). Multiple Attribute Decision Making. *Taylor and Francis Group*, Boca Raton.
- Ünal, A. U. & Alkan, G. B. (2015, 5-6 Kasım). *Liman işletmeleri için iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri ve önemi*. II. Ulusal Liman Kongresi, İzmir.
- Ünal, A. U., Usluer, H. B. (2015, 5-6 Kasım). *Tehlikeli Yük elleçleme eğitimlerinin liman işletmelerindeki gereklilik ve önemi*. II. Ulusal Liman Kongresi, İzmir.
- Vrakas, G., Chan, C. & Thai, V. (2021). The effects of evolving port technology and process optimisation on operational performance: The case study of an Australian container terminal operator, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37(4), 281-290. DOI:10.1016/j.ajsl.2020.04.001.
- Wadsworth, E., Bhattacharya, S., Walters, D. & Sci, M. (2016). Representing workers on arrangements for occupational safety and health in a global industry: Dock-Workers experiences in two countries. *Policy and Practice in Health and Safety*, 13(2), 87-107. DOI:10.1080/14774003.2015.11667819.

- Walters, D., Wadsworth, E. & Bhattacharya, S. (2020). What about the workers?-Experiences of arrangements for safety and health in global container terminals. *Safety Science*, 121, 474-484. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.09.017.
- Wu, C. & Huang, L. (2019). A new accident causation model based on information flow and its application in Tianjin Port Fire and explosion accident. *Reliability Engineering and System Safety*, 182, 73-85. DOI: 10.1016/j.ress.2018.10.009.
- Wu, W.W. & Lee, Y. T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32(2), 499-507. DOI:10.1016/j.eswa.2005.12.005.
- Yip, T.L. (2008). Port traffic risks – A study of accidents in Hong Kong Waters. *Transportation Research Part E*, 921-931.



## ON THE SOLITARY WAVE SOLUTIONS OF DIFFERENT VERSIONS OF FRACTIONAL 3D- WAZWAZ -BENJAMIN-BONA-MAHONY EQUATIONS

KESİRLİ 3D- WAZWAZ -BENJAMIN-BONA-MAHONY DENKLEMLERİNİN FARKLI VERSİYONLARININ SOLİTARY DALGA ÇÖZÜMLERİ ÜZERİNE

Ulviye DEMİRBİLEK<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1285053>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar  
udemirbilek@mersin.edu.tr

Received / Geliş Tarihi  
18.04.2023

Accepted / Kabul Tarihi  
04.09.2023

### Abstract

Nonlinear fractional Wazwaz -Benjamin-Bona-Mahony (WBBM) equations play an important role in physics. The equations form an important model for studying the approximately unidirectional propagation of small amplitude long waves in certain nonlinear distribution systems as an alternative to Kortweg and de Vries (KDV). In this study, the fractional 3D-WBBM equations are solved by using the Improved Bernoulli Sub-Equation Function (IBSEF) method. 3D, 2D and contour plots are given to show the physical properties of the solutions. The main aim of this method is to clarify obvious the exact solutions to the equations. Moreover, the effectiveness of the method is demonstrated by the findings presented in this paper.

**Keywords:** Exact solution, fractional derivative, WBBM equations.

### Öz

Lineer olmayan kesirli Wazwaz-Benjamin-Bona-Mahony (WBBM) denklemleri fizikte önemli bir rol oynar. Bu denklemler, Kortweg ve de Vries'e (KDV) alternatif olarak belirli doğrusal olmayan dağıtım sistemlerinde küçük genlikli uzun dalgaların yaklaşık olarak tek yönlü yayılmasını incelemek için önemli bir model oluşturur. Çalışmada, kesirli 3D-WBBM denklemleri, Geliştirilmiş Bernoulli Alt Denklem Fonksiyonu (IBSEF) yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Çözümlerin fiziksel özelliklerinin gösterilmesi için 3D, 2D ve kontur çizimleri verilmiştir. Bu yöntemin temel amacı, bu denklemlerin kesin çözümlerini açıklığa kavuşturmak. Ayrıca yöntemin etkinliği, bu makalede sunulan bulgularla gösterilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kesirli türev, WBBM denklemleri, tam çözüm.

<sup>1</sup>Mersin University. The Faculty of Sciences, Department of Mathematics, Mersin, Türkiye.  
udemirbilek@mersin.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-5767-1089.



## 1. INTRODUCTION

Nonlinear partial differential equations (PDEs) are important for modeling many daily life problems in fields of optical fibers, biology, chemical physics, plasma physics, quantum mechanics and so on. It is difficult to understand these complex structures used in non-linear branches such as engineering, physics and mathematics. For this reason, many mathematical methods have been developed in this field. So, many exact solution methods are used to understand the physical behavior of equations. Some of these methods are the dynamical system method by (Fu & Lie, 2017), the Hirota's direct method (Wazwaz, 2018), the generalized bilinear transformation method (Ma, 2011), the improved Bernoulli sub-equation function method (Ala et al., 2021), the double (G'/G,1/G)-expansion method (Ünal & Ekici, 2021), the rational (G'/G)-expansion method (Ekici & Ünal, 2022), the (m+1/G')-expansion method (Atas et al., 2022), the extended (G'/G)-expansion method (Roshid et al., 2014), the Sine-Gordon expansion method (Baskonuş et al., 2019), the Ricatti-Bernoulli sub-ODE method (Yusuf et al., 2019), the modified exponential function method (Aktürk & Kudali, 2022), and so on.

The Benjamin-Bona-Mahony (BBM) equation is defined in (Benjamin et al.,1972) by:

$$v_x + v_t + vv_x - v_{xxt} = 0.$$

This equation has a boundless diffusion relationship with the KDV equation. So, it is a powerful alternative to the KDV equation.

Also, various modifications of the BBM equations have been studied by many researchers. Wazwaz developed a novel model which is called Wazwaz -Benjamin-Bona-Mahony (WBBM) equations in (Wazwaz, 2017) as:

$$v_x + v_t + v^2v_y - v_{xzt} = 0,$$

$$v_z + v_t + v^2v_x - v_{xyt} = 0,$$

$$v_y + v_t + v^2v_z - v_{xxt} = 0.$$

These three recently derived equations are redefined by Wazwaz, and the resulting version of these 3D fractional WBBM equations is considered in this article (Mamun et al., 2020):

$$D_t^\eta v + D_x^\eta v + D_y^\eta v^3 - D_{xzt}^{3\eta} v = 0, \quad t \geq 0, \quad 0 < \eta \leq 1, \quad (1)$$

$$D_t^\eta v + D_z^\eta v + D_x^\eta v^3 - D_{xyt}^{3\eta} v = 0, \quad t \geq 0, \quad 0 < \eta \leq 1, \quad (2)$$

$$D_t^\eta v + D_y^\eta v + D_z^\eta v^3 - D_{xxt}^{3\eta} v = 0, \quad t \geq 0, \quad 0 < \eta \leq 1, \quad (3)$$

where  $v(x, y, z, t)$  is differentiable functions in the Eq. (1)-(3) in which independent variables  $x, y, z,$  and  $t, D_t^\eta, D_x^\eta, D_y^\eta$  and  $D_z^\eta$  represent the conformable fractional derivative of order  $\eta$ .

Various methods have been used to arrive at different solutions for the family (1)-(3); for example, the modified extended tanh-function method yields hyperbolic and trigonometric function solutions (Mamun et al., 2020), the tanh-coth method is utilized to derive singular, shock, periodic, and bell-shaped soliton solutions as presented (Mamun et al., 2022a), the Sine-Gordon expansion method yields hyperbolic function solutions (Mamun et al., 2022b), the improved

modified extended tanh-function method is used to obtain bright solitons, dark solitons, bright-dark solitons, single solitons, and multiple solitons (Mamun et al., 2022c).

This article is structured as follows: Sect. 1 is dedicated to the introduction. Sect. 2 includes the basic definitions of fractional derivatives and describes the proposed method. In Sect. 3, the applications of the IBSEF method to Eqs. (1)-(3) are presented. Sect. 4 provides graphical representations of the solutions. Finally, Sect. 5 presents the main conclusions.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Conformable Fractional Derivative

This part covers the basic concepts of the conformable fractional derivative discussed in this study.

**Definition:** Let be a function  $v = v(\xi): [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ . The conformable derivative of order  $\eta$  is defined by (Khalil et al., 2014) :

$$D_t^\eta(v(t)) = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{v(t+\tau t^{1-\eta}) - v(t)}{\tau},$$

for all  $t > 0, \eta \in (0, 1]$ .

**Theorem 1.** Suppose that  $v = v(t)$  and  $\omega = \omega(t)$  are  $\eta \in (0, 1]$  -differentiable. Then

$$\text{i. } D_t^\eta(k_1 v + k_2 \omega) = k_1 D_t^\eta(v) + k_2 D_t^\eta(\omega), \quad \forall k_1, k_2 \in \mathbb{R}.$$

$$\text{ii. } D_t^\eta(t^k) = k t^{k-\eta}, \quad k \in \mathbb{R}.$$

$$\text{iii. } D_t^\eta(\alpha) = 0, \text{ for all constant function } v(\xi) = \alpha.$$

$$\text{iv. } D_t^\eta(v\omega) = v D_t^\eta(\omega) + \omega D_t^\eta(v).$$

$$\text{v. } D_t^\eta\left(\frac{v}{\omega}\right) = \frac{\omega T_t^\eta(v) - v T_t^\eta(\omega)}{\omega^2}, \quad \omega \neq 0,$$

for all positive  $t$ .

**Theorem 2.** Let  $v = v(t)$  be an  $\eta$  - conformable differentiable function and assume that  $\omega$  is differentiable and defined in the range of  $v$ . Then,

$$D_t^\eta(v\omega) = t^{1-\eta} \omega'(t) v'(\omega(t)).$$

For the proofs, see (Atangana et al., 2015; Abdeljawad, 2015).

### 2.2. Description of the Proposed Method

In this part, we give outline the steps for the method to be used (Başkonuş & Bulut, 2015).

**Step 1.** To start with, we consider the conformable fractional PDE equation given by

$$Q(v, v_x, D_t^\eta v, v_{xx}, \dots) = 0, \quad 0 < \eta \leq 1, \quad (4)$$

where  $D_t^\eta$  is the conformable derivative operator,  $\eta$  is fractional order. We define a transformation

$$v(x, t) = V(\xi), \quad \xi = (x - ct^\eta \eta^{-1}), \quad (5)$$

where  $c$  is an arbitrary constant and not zero. Then substituting Equation (5) into Eq.(4), gives the following of ordinary differential equation

$$N(V, V', V'', \dots) = 0, \quad (6)$$

where  $N$  is function of  $V, V', V''$  and its derivatives with respect to  $\xi$ . We assume that the solution of (6) can be represented as:

$$V(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^n a_i H^i(\xi)}{\sum_{i=0}^m b_i H^i(\xi)}, \quad (7)$$

where  $a_0, a_1, \dots, a_n$  and  $b_0, b_1, \dots, b_m$  are real or complex constants.  $m$  and  $n$  are calculated with the help of the balance principle. The form of the following Bernoulli differential equation is taken into account:

$$H'(\xi) = \sigma H(\xi) + dH^M(\xi), \quad (8)$$

where  $d \neq 0, \sigma \neq 0, M \in \mathbb{R} \setminus \{0, 1, 2\}$  and  $H(\xi)$  is polynomial.

**Step 2:**  $m, n, M$  is found by balance principle and different from zero. Balance principle is both nonlinear term and the highest order derivative term of Eq. (4). Considering Eqs. (7), (8) in (6), we get

$$\Theta(H(\xi)) = \rho_s H(\xi)^s + \dots + \rho_1 H(\xi) + \rho_0 = 0, \quad (9)$$

the coefficients  $\rho_i, i = \overline{0, s}$  will be determined later. The coefficients of  $\Theta(H(\xi))$  which will give us a system of algebraic equations, whole be zero.

**Step 3.** The function  $H(\xi)$  is a solution of the Bernoulli differential Eq. (8). Therefore,  $H(\xi)$  is given by

a) For  $d \neq \sigma, \varepsilon \in \mathbb{R}$ ,

$$H(\xi) = \left[ \frac{-de^{\sigma(\varepsilon-1)} + \varepsilon\sigma}{\sigma e^{\sigma(\varepsilon-1)\xi}} \right]^{\frac{1}{1-\varepsilon}}. \quad (10)$$

b) For  $d = \sigma, \varepsilon \in \mathbb{R}$ ,

$$H(\xi) = \left[ \frac{(\varepsilon-1) + (\varepsilon+1) \tanh\left(\sigma(\varepsilon-1)\frac{\xi}{2}\right)}{1 - \tanh\left(\sigma(\varepsilon-1)\frac{\xi}{2}\right)} \right]. \quad (11)$$

With the solving of this algebraic equation system, the values of the constants used in the solution function and the soliton solutions of (4) are obtained via Mathematica.

### 3. IMPLEMENTATION

#### 3.1. The First Fractional WBBM Equation and Its Solitons

In this section, using the IBSEF method, we will realize the exact solutions in terms of some variables for Eq. (1).

Let's consider the traveling wave transformation by

$$v(x, y, z, t) = V(\xi), \quad \xi = \alpha \left( \frac{x^\eta}{\eta} \right) + \beta \left( \frac{y^\eta}{\eta} \right) + \gamma \left( \frac{z^\eta}{\eta} \right) - \kappa \left( \frac{t^\eta}{\eta} \right). \quad (12)$$

Using the basic properties fractional derivative and substituting Eqs. (12) into (1), it becomes:

$$(-\kappa + \alpha)V' + \beta(V^3)' + \alpha\gamma\kappa V''' = 0.$$

Integrating above the equations concerning  $\xi$ , we get ordinary differential equation (ODE) as:

$$(-\kappa + \alpha)V + \beta V^3 + \alpha\gamma\kappa V'' + c_0 = 0, \quad (13)$$

where  $c_0$  is the integrating constant and  $c_0 = 0$  is chosen for simplicity. Considering that the nonlinear term of the highest algebraic power is  $V^3$  and the highest derivative term is  $V''$ , we obtain the relation

$$M + m = n + 1.$$

This relationship of  $m, n$  and  $M$  give us different types of the solutions of Eq. (13). Using homogeneous balance principle,  $M = n = 3$  and  $m = 1$  are chosen. Therefore we get,

$$V(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^3 a_i H^i(\xi)}{\sum_{i=0}^1 b_i H^i(\xi)} = \frac{\alpha_0 + \alpha_1 H(\xi) + \alpha_2 H^2(\xi) + \alpha_3 H^3(\xi)}{b_0 + b_1 H(\xi)} = \frac{\psi(\xi)}{\varphi(\xi)}, \quad (14)$$

$$V'(\xi) = \frac{\psi'(\xi)\varphi(\xi) - \psi(\xi)\varphi'(\xi)}{\varphi^2(\xi)},$$

$$V''(\xi) = \frac{\psi'(\xi)\varphi(\xi) - \psi(\xi)\varphi'(\xi)}{\varphi^2(\xi)} - \frac{[\psi(\xi)\varphi'(\xi)]' \varphi^2(\xi) - 2\psi(\xi)[\varphi']^2 \varphi(\xi)}{\varphi^4(\xi)}. \quad (15)$$

Substituting Eqs. (15) along with (14) into (13) as well as equating the like power of  $H$  and solving the algebraic system as:

$$H^0: \beta a_0^3 + \alpha a_0 b_0^2 - \kappa a_0 b_0^2 = 0,$$

$$H^1: 3\beta a_0^2 a_1 + \alpha a_1 b_0^2 - \kappa a_1 b_0^2 + \alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_1 b_0^2 + 2\alpha a_0 b_0 b_1 - 2\kappa a_0 b_0 b_1 - \alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_0 b_0 b_1 = 0,$$

$$H^2: 3\beta a_0 a_1^2 + 3\beta a_0^2 a_2 + \alpha a_2 b_0^2 - \kappa a_2 b_0^2 + 4\alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_2 b_0^2 + 2\alpha a_1 b_0 b_1 - 2\kappa a_1 b_0 b_1 - \alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_1 b_0 b_1 + \alpha a_0 b_1^2 - \kappa a_0 b_1^2 + \alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_0 b_1^2 = 0,$$

$$H^3: \beta a_1^3 + 6\beta a_0 a_1 a_2 + 3\beta a_0^2 a_3 + 4\alpha\gamma\kappa\sigma a_1 b_0^2 + \alpha a_3 b_0^2 - \kappa a_3 b_0^2 + 9\alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_3 b_0^2 - 4\alpha\gamma\kappa\sigma a_0 b_0 b_1 + 2\alpha a_2 b_0 b_1 - 2\kappa a_2 b_0 b_1 + 3\alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_2 b_0 b_1 + \alpha a_1 b_1^2 - \kappa a_1 b_1^2 = 0,$$

$$H^4: 3\beta a_1^2 a_2 + 3\beta a_0 a_2^2 + 6\beta a_0 a_1 a_3 + 12d\alpha\gamma\kappa\sigma a_2 b_0^2 + 2\alpha a_3 b_0 b_1 - 2\kappa a_3 b_0 b_1 + 11\alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_3 b_0 b_1 + \alpha a_2 b_1^2 - \kappa a_2 b_1^2 + \alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_2 b_1^2 = 0,$$

$$H^5: 3\beta a_1 a_2^2 + 3\beta a_1^2 a_3 + 6\beta a_0 a_2 a_3 + 3d^2\alpha\gamma\kappa a_1 b_0^2 + 24d\alpha\gamma\kappa\sigma a_3 b_0^2 - 3d^2\alpha\gamma\kappa a_0 b_0 b_1 + 12d\alpha\gamma\kappa\sigma a_2 b_0 b_1 + \alpha a_3 b_1^2 - \kappa a_3 b_1^2 + 4\alpha\gamma\kappa\sigma^2 a_3 b_1^2 = 0,$$

$$H^6: \beta a_2^3 + 6\beta a_1 a_2 a_3 + 3\beta a_0 a_3^2 + 8d^2\alpha\gamma\kappa a_2 b_0^2 + d^2\alpha\gamma\kappa a_1 b_0 b_1 + 32d\alpha\gamma\kappa\sigma a_3 b_0 b_1 - d^2\alpha\gamma\kappa a_0 b_1^2 + 4d\alpha\gamma\kappa\sigma a_2 b_1^2 = 0,$$

$$H^7: 3\beta a_2^2 a_3 + 3\beta a_1 a_3^2 + 15d^2\alpha\gamma\kappa a_3 b_0^2 + 9d^2\alpha\gamma\kappa a_2 b_0 b_1 + 12d\alpha\gamma\kappa\sigma a_3 b_1^2 = 0,$$

$$H^8: 3\beta a_2 a_3^2 + 21d^2\alpha\gamma\kappa a_3 b_0 b_1 + 3d^2\alpha\gamma\kappa a_2 b_1^2 = 0,$$

$$H^9: q\beta a_3^3 + 8d^2\alpha\gamma\kappa a_3 b_1^2 = 0.$$

The above algebraic equations yield the following coefficients:

**Result 1.**

$$a_0 = -\frac{i\sqrt{\alpha - \kappa}b_0}{\sqrt{\beta}}; a_1 = -\frac{i\sqrt{\alpha - \kappa}b_1}{\sqrt{\beta}}; a_2 = -\frac{2id\sqrt{\alpha - \kappa}b_0}{\sqrt{\beta}\sigma};$$

$$a_3 = -\frac{2id\sqrt{\alpha - \kappa}b_1}{\sqrt{\beta}\sigma}; \quad \gamma = \frac{\alpha - \kappa}{2\alpha\kappa\sigma^2}.$$

Substituting these coefficients along with Eqs. (10) in (14), we obtain the following solution of (12) as follows;

$$v_1(x, y, z, t) = -\frac{i\sqrt{\alpha - \kappa} \left( 1 - \frac{2d}{\frac{(z^\eta(-\alpha + \kappa) - 2\alpha\kappa\sigma^2(x^\eta\alpha + y^\eta\beta - t^\eta\kappa))\sigma}{d - e} \frac{\alpha\kappa\sigma^2\eta}{\epsilon\sigma}} \right)}{\sqrt{\beta}}. \tag{16}$$

**Result 2.**

$$a_0 = \frac{\sqrt{\alpha - \beta}a_2}{2\sqrt{2}d\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}}; a_1 = \frac{\sqrt{\alpha - \beta}a_2b_1}{2\sqrt{2}d\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}b_0}; a_3 = \frac{a_2b_1}{b_0}; \sigma = \frac{\sqrt{\alpha - \kappa}}{\sqrt{2}\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}}; q = -\frac{8d^2\alpha\gamma\kappa b_0^2}{a_2^2}.$$

If the coefficients given above are used, the following solution functions are obtained as follows:

$$v_2(x, y, z, t) = \frac{(4(e^{-\frac{(-1+M)\sqrt{\alpha - \kappa}(x^\eta\alpha + y^\eta\beta + z^\eta\gamma - t^\eta\kappa)}{\sqrt{2}\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}}} \epsilon^{-\frac{\sqrt{2}d\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}}{\sqrt{\alpha - \kappa}}} - \frac{2}{-1+M} + \frac{\sqrt{2}\sqrt{\alpha - \beta}}{d\sqrt{\alpha}\sqrt{\gamma}\sqrt{\kappa}})a_2)}{4b_0}. \tag{17}$$

**3.2. The Second Fractional WBBM Equation and Its Soliton**

When we apply the wave transformation (12) to the second fractional WBBM equation (2), we get the following ODE:

$$(-\kappa + \gamma)V + \alpha V^3 + \alpha\beta\kappa V'' = 0. \tag{18}$$

Proceeding the same way as the above steps and with the help of Mathematica, we yield the following values of Eq. (18):

**Result 1.**

$$a_0 = i\sqrt{2}\sqrt{\beta}\sqrt{\kappa}\sigma b_0; \quad a_1 = i\sqrt{2}\sqrt{\beta}\sqrt{\kappa}\sigma b_1; \quad a_2 = 2i\sqrt{2}d\sqrt{\beta}\sqrt{\kappa}b_0;$$

$$a_3 = 2i\sqrt{2}d\sqrt{\beta}\sqrt{\kappa}b_1; \quad \gamma = \kappa + 2\alpha\beta\kappa\sigma^2.$$

Using these solutions sets, we obtain the solutions for the Eq. (2)

$$v_3(x, y, z, t) = i\sqrt{2}\sqrt{\beta}\sqrt{\kappa} \left( \frac{2d}{e^{\frac{2\sigma(x^\eta\alpha+y^\eta\beta-t^\eta\kappa+z^\eta\kappa(1+2\alpha\beta\sigma^2))}{\eta}} \epsilon^{-\frac{d}{\sigma}}} + \sigma \right). \tag{19}$$

**3.3. The Third Fractional WBBM Equation and Its Soliton**

Introducing the traveling wave transform (12) into Eq. (3), the ODE is obtained as follows:

$$(-\kappa + \beta)V + \gamma V^3 + \alpha^2\kappa V'' = 0. \tag{20}$$

Proceeding in the same manner as the above steps, and utilizing Mathematica, we obtain the following values for Eq. (20):

**Result 1.**

$$a_0 = \frac{\sigma a_2}{2d}; \quad a_1 = \frac{\sigma a_2 b_1}{2db_0}; \quad a_3 = \frac{a_2 b_1}{b_0}; \quad \kappa = \beta - 2\alpha^2\sigma^2; \quad \gamma = -\frac{8d^2\alpha^2 b_0^2}{a_2^2}.$$

Using these solutions sets, we obtain the solutions for the Eq. (3):

$$v_4(x, y, z, t) = \frac{\sigma \left( \frac{1}{d} \frac{2}{e^{\frac{2\sigma(-x^\eta\alpha-y^\eta\beta+t^\eta(\beta-2\alpha^2\sigma^2)+\frac{8d^2z^\eta\alpha^2 b_0^2}{a_2^2})}{\eta}} \epsilon^\sigma} \right) a_2}{2b_0}. \tag{21}$$

**4. RESULTS AND DISCUSSION**

In this section 3D, 2D and contour plot graphical representations of the solutions  $v_1(x, y, z, t)$ ,  $v_2(x, y, z, t)$ ,  $v_3(x, y, z, t)$ , and  $v_4(x, y, z, t)$  are given, respectively.

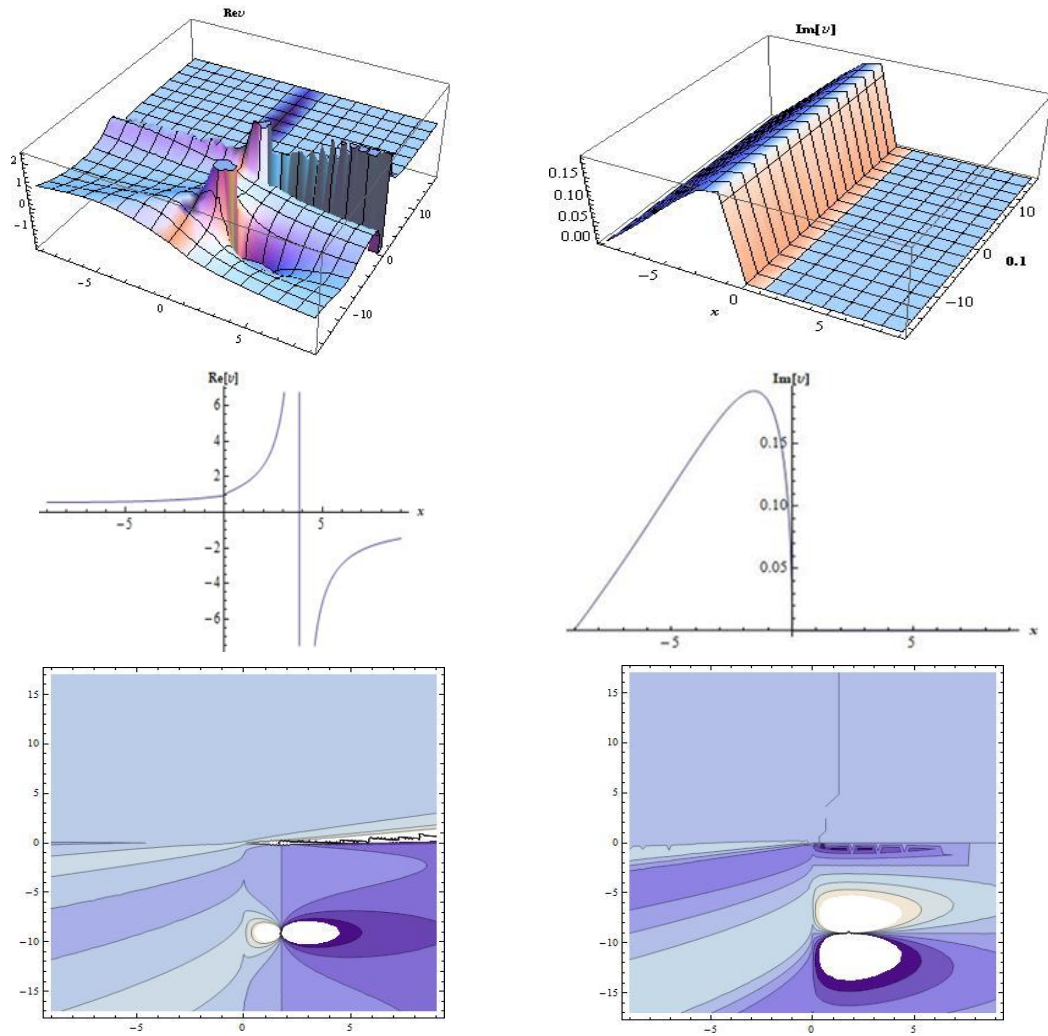


Figure1. 3D, 2D and contour plots of  $v_1(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,3; \beta = 0,56; \kappa = 0,6; \eta = 0,5; \epsilon = 0,44; \gamma = 0,1; \sigma = 0,87; d = 0,86; -9 < x < 9, -17 < t < 17$

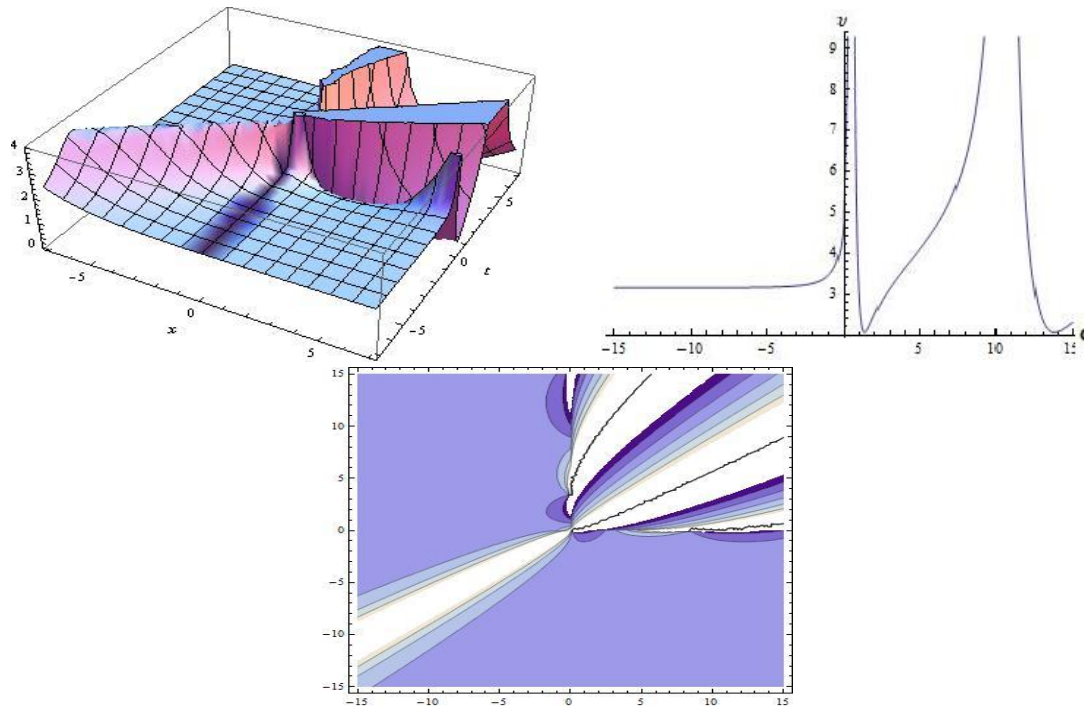


Figure2. 3D, 2D and contour plots of  $v_2(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,5; \beta = 0,2; \kappa = 0,59; \gamma = 0,1; \eta = 0,5; \epsilon = 0,55; d = 0,75; a_2 = 0,44; b_0 = 0,21; -15 < x < 15, -15 < t < 15$

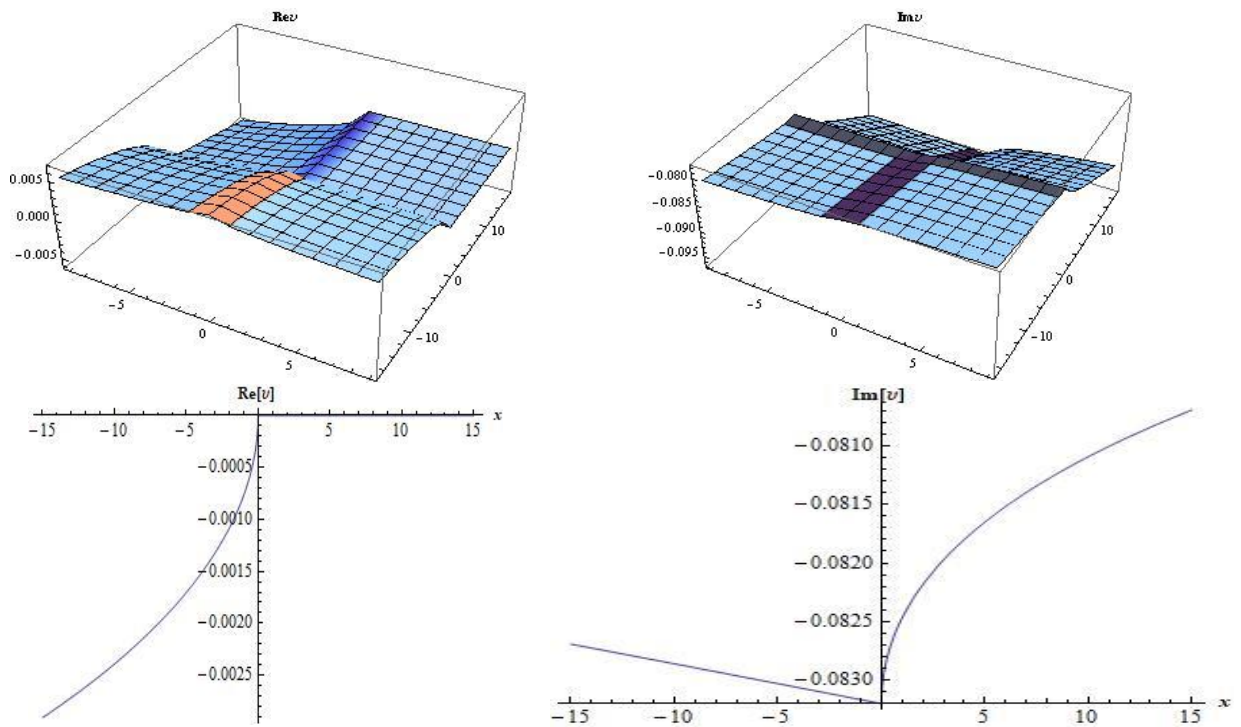


Figure3. 3D of  $v_3(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,2; \beta = 0,5; \kappa = 0,55; \eta = 0,5; \epsilon = 0,3; d = 0,49; -9 < x < 9, -17 < t < 17$  and 2D plots of  $v_3(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,2; \beta = 0,5; \kappa = 0,55; \eta = 0,5; \epsilon = 0,3; d = 0,49; -15 < x < 15$



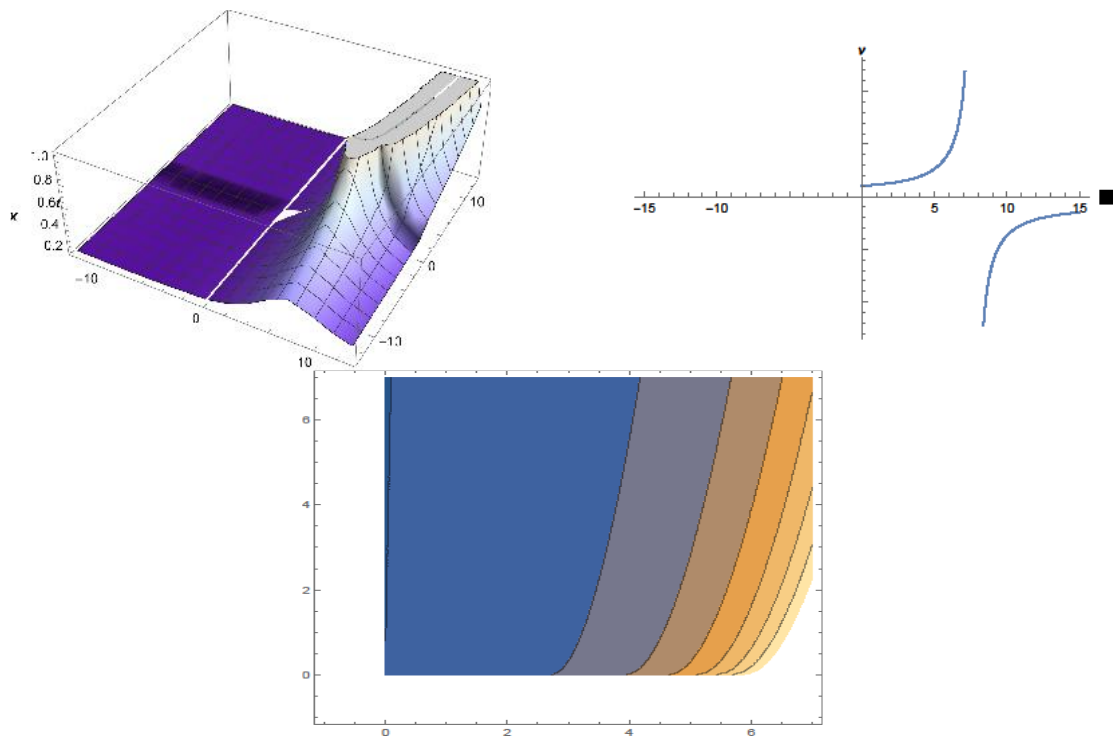


Figure 4. 3D of  $v_4(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,5; \beta = 0,32; \eta = 0,5; \epsilon = 0,1; d = 0,4; a_2 = 0,11; b_0 = 0,5; -10 < x < 10, -10 < t < 10$  and 2D plots of  $v_3(x, y, z, t)$  for the values  $\alpha = 0,5; \beta = 0,32; \eta = 0,5; \epsilon = 0,1; d = 0,4; a_2 = 0,11; b_0 = 0,5; -15 < x < 15$

## 5. CONCLUSION

In this study, the IBSEF method was employed to obtain exact solutions for fractional 3D-fractional WBBM equations (1)-(3). The method demonstrated its effectiveness, reliability, and conformability in obtaining accurate solutions for nonlinear conformable time-fractional derivative partial differential equations. Utilizing Wolfram Mathematica, we employed graphical representations such as 3D plots, 2D plots, and contour plots to visually present some of the solutions. The exponential function solutions, outlined in Eqs. (16), (17), (19), and (21) and depicted in Figs. 1, 2, 3, and 4, respectively, capture natural processes of growth and decay. These solutions find broad application in modeling population growth, radioactive decay, financial investments, and other scenarios characterized by quantities changing proportionally to their current values. Furthermore, within the field of quantum mechanics, exponential functions surface as descriptors of wave function behavior and probability amplitudes in quantum systems. So, these conclusions could prove important to further research into these systems in order to address the nonlinear problems encountered in applied sciences.

### Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

## REFERENCES

Abdeljawad, T. (2015). On conformable fractional calculus. *J Comput Appl Math*, 279, 57-66.

- Aktürk, T. & Kubal, Ç. (2022). The behavior of plasma and space-charge waves represented by Nonlinear mathematical models. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 23, 50, <https://doi.org/10.1016/j.joes.2022.06.031>.
- Ala, V., Demirbilek, U. & Mamedov, Kh. R. (2021). On the exact solutions to conformable equal width wave equation by improved Bernoulli sub-equation function method. *Bulletin of the South Ural State University Ser. Mathematics. Mechanics. Physics*, 13(3), 5–13.
- Atangana, A., Baleanu, D. & Alsaedi, A. (2015). New properties of conformable derivative. *Open Math*, 13, 1-10.
- Atas, S.S., Ali, K.K., Sulaiman, T.A. & Bulut, H. (2022). Optical solitons to the Fokas system equation in monomode optical fibers. *Opt Quant Electron*, 54(11), 1-13.
- Baskonus, H. M. & Bulut, H. (2015). On the complex structures of Kundu-Eckhaus equation via improved Bernoulli sub-equation function method. *Waves in Random and Complex Media*, 66, 720-728.
- Baskonus, H.M., Bulut, H. & Sulaiman, T.A. (2019). New complex hyperbolic structures to the Lonngrenwave equation by using sine-gordon expansion method. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 4, 129-138.
- Benjamin, T., Bona, J. & Mahony, J. (1972). Model equations for long waves in nonlinear dispersive systems. *Philos Trans. R. Soc. London, Ser A* 272(1220), 47.
- Ekici, M. & Ünal, M. (2022). Application of the rational (G'/G)-expansion method for solving some coupled and combined wave equations. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 71(1), 116-132.
- Fu, Y. & Li, J. (2017). Exact stationary -wave solutions in the standart model of the Kerr-nonlinear optical fiber with the Bragggrating. *Journal of Applied Analysis and Computation*, 7, 1177-1184.
- Khalil, R., Al Horani, A., Yousef, A. & Sabadheh, M. (2014). A new definition of fractional derivative. *J. Comput. Appl. Math.*, 264, 65-70.
- Ma, W.X. (2011). Generalized bilinear differential equations. *Stud. Nonlinear Sci.*, 2, 140–144.
- Mamun, A.A., An, T., Shahen, N. H. M., Ananna, S. N., Hossain, M. F., & Muazu, T. (2020). Exact and explicit travelling-wave solutions to the family of new 3D fractional WBBM equations in mathematical physics. *Results in Physics*, 19, 103517.
- Mamun, A.A., Ananna, S. N., An, T., Asaduzzaman, M., & Miah, M. M. (2022a). Solitary wave structures of a family of 3D fractional WBBM equation via the tanh–coth approach. *Partial Differential Equations in Applied Mathematics*, 5, 100237.
- Mamun, A.A., Ananna, S.N., An, T., Asaduzzaman, Md. & Rana, M.S. (2022b.) Sine-Gordon expansion method to construct the solitary wave solutions of a family of 3D fractional WBBM equations, *Results in Physics*, 40, 105845.

- Mamun, A.A., Ananna, S.N., Gharami, PP., An, T. & Md. Asaduzzaman. (2022c). The improved modified extended tanh-function method to develop the exact travelling wave solutions of a family of 3D fractional WBBM equations, *Results in Physics*, 41, 105969.
- Roshid, H.O., Akbar, M.A., Alam Md. N., Hoque, Md. F.& Rahman, N. (2014). New extended  $(G'/G)$ -expansion method to solve nonlinear evolution equation: The  $(3 + 1)$ -dimensional potential-YTSF equation. *SpringerPlus*, 3(122), 6.
- Ünal, M. & Ekici, M. (2021). The double  $(G'/G, 1/G)$ -expansion method and its applications for some nonlinear partial differential equations. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 1(11), 599-608.
- Wazwaz, A.M. (2008). The Hirota's direct method and the tanh-coth method for multiple-soliton solutions of the Sawada-Kotera-Ito seventh-order equation. *Appl Math Comput.*, 199,133-8.
- Wazwaz, A.M. (2017). Exact soliton and kink solutions for new  $(3+1)$ -dimensional nonlinear modified equations of wave propagation. *Open Eng.*, 7,169–174.
- Yusuf, A., Inc, M., Aliyu, A. & Baleanu, D. (2019). Optical solitons possessing beta derivative of the Chen Lee-Liu equation in optical fiber. *Front Phys.*, 7(34), doi:10.3389/fphy.2019.00034.



*Research Article / Araştırma Makalesi*

## CHARACTERIZATION OF ONE DIMENSIONAL PERIODIC BOUNDARY CELLULAR AUTOMATA

BİR BOYUTLU PERİYODİK SINIR ŞARTLI HÜCRESEL DÖNÜŞÜMLERİN  
KARAKTERİZASYONU

**Ferhat ŞAH<sup>1</sup>**

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1323022>

*Corresponding Author / Sorumlu Yazar*  
sefersah@gmail.com

*Received / Geliş Tarihi*  
05.07.2023

*Accepted / Kabul Tarihi*  
03.10.2023

### Abstract

In this paper, we investigate one dimensional cellular automata under periodic boundary conditions. We use matrix algebra for calculating over on  $Z_p$ . We obtain a formula for finding the reversibility of cellular automata. Finally, we give some important examples of cellular automata.

**Keywords:** Boundary condition, cellular automata, characteristic matrices, reversibility.

### Öz

Bu çalışmada periyodik sınır şartı altında, bir boyutlu hücresel dönüşümleri inceliyoruz.  $Z_p$  cismi üzerindeki hesaplamalar için matris cebirlerini kullanıyoruz. Hücresel dönüşümlerin tersini bulmak için bir formül elde ediyoruz. Son olarak, hücresel dönüşümlerin bazı önemli örneklerini veriyoruz.

**Anahtar Kelimeler:** Hücresel dönüşümler, karakteristik matrisler, sınır şartları, terslenebilirlik.

<sup>1</sup>Adıyaman University, Technical Sciences Vocational School, Adıyaman, Türkiye.  
sefersah@gmail.com, Orcid.org/0000-0003-4847-9180.

2020 Mathematics Subject Classification: 37B15; 67Q80

## 1. INTRODUCTION

Cellular automata (shortly CA) were first studied by Neumann in the 1940s. Von Neumann framed CA as a cellular space capable of self-reproduction. Since then, many researchers have taken an interest in the study of CA for modeling the behavior of complex systems. Wolfram et al. (1983) investigated one-dimensional CA with the help of polynomial algebra. He used simple mathematical models to characterize cellular automata in statistical mechanics. One-dimensional CA was characterized using matrix algebras by Das et al. (1993) and a new method was developed for the examination of linear CA. The structure of CA was analyzed differently from other studies via polynomial algebras. They focused in the article, more on hybrid CAs. They gave an algorithm about the invertibility of the representation matrices of CA.

While studying cellular automata, one of the most important problems is whether cellular automata is reversible or not. There are many studies made on this topic. Because if CA is reversible, we can obtain its initial form. Many disciplines can benefit from this situation. Martin del Rey et al. (2011) have studied the reversibility problem for null boundary cellular automata (shortlyNBCA). They used a pentadiagonal matrix over the binary field which was defined by a rule matrix. The existence of the inverse of one-dimensional cellular automata under the intermediate boundary condition was demonstrated by Chang et al., (2020) by obtaining various algorithms. The reversibility of linear cellular automata was investigated by observing the structure of the characteristic matrix on a finite field. Akın (2021) investigated the reversibility of 9-cycle one dimensional periodic boundary cellular automata (shortly 1D-PBCA). Radius was taken in 4 by the author. The reversibility criteria were determined with the help of coefficients and a rule matrix.

As mentioned above the problem of irreversibility in 1-D cellular automata is a difficult problem in general. In this article, we characterize 1D-PBCA over on  $\mathbb{Z}_p$ . We use elementary matrix operation for finding the reversibility of 1D-PBCA. We have implemented a new local rule for obtaining the characteristic matrix. We have developed a new algorithm that can calculate reversibility. Lastly, we have shared a few examples of algorithms.

## 2. CONSTRUCTION OF CELLULAR AUTOMATA OVER $\mathbb{Z}_p$

**Definition 2.1** Let  $\mathbb{Z}_m = \{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ .  $x = (x_n)_{n=-\infty}^{\infty}$  is double-sided, infinite sequence. It denotes  $\mathbb{Z}_m^{\mathbb{Z}}$ . Let  $r$  be the radius and  $f$  is the local rule. So, we define the local rule as follows:

$$f: \mathbb{Z}_m^{2r+1} \rightarrow \mathbb{Z}_m$$

$$f(x_{-r}, \dots, x_r) = \left( \sum_{i=-r}^{i=r} w_i x_i \right) (\text{mod } m)$$

where  $w_i \in \mathbb{Z}_m$ .  $F: \mathbb{Z}_m^{\mathbb{Z}} \rightarrow \mathbb{Z}_m^{\mathbb{Z}}$  is generated by this local rule. So, we call it 1D additive CA. This transformation is defined as follows:

$$Fx = (y_n)_{n=-\infty}^{\infty}, y_n = f(x_{n-r}, \dots, x_{n+r}) = \left( \sum_{i=-r}^{i=r} w_i x_{n+i} \right) (\text{mod } m)$$

A 1D CA structure, whose definition is given on the  $\mathbb{Z}_2$  field, can be thought of as a lattice of cells or blocks, where the value of each cell is taken as 0 or 1. The next transition state of the cell can be obtained depending on itself and its other two neighbors. Cells can evolve in discrete time steps according to local rules that depend only on the local neighborhood.

Mathematically, the next state transition of the  $i$  th cell can be represented as a function of the present states of the  $(i - 1)$ th,  $i$  th and  $(i + 1)$ th cells:

$$\wp_i(t + 1) = f(\wp_i(t), \wp_{i+1}(t), \wp_{i-1}(t))$$

where  $\wp$  is known as the rule of a CA.

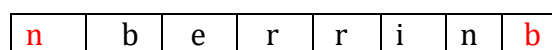
**Definition 2.2** If the same rule is applied to all the cells in a CA, then the CA is called a uniform or regular CA (Khan et al.,1999).

**Definition 2.3** If different rules are applied to different cells in a CA, then the CA is called a hybrid CA (Khan et al.,1999).

Why should we limit the extreme cells of the lattice when working on cellular automata? In order to obtain better results, we take various boundary conditions on the extreme cells. There are many boundary conditions, we use periodic boundary conditions in this work.

**Definition 2.3** A Periodic Boundary CA is the one in which the extreme cells are adjacent to each other (Khan et al.,1999).

**Example 2.4** If we look carefully, as if a finite one-dimensional array of cells labeled b, e, r, r, i, n had joined a periodic loop.



In this article, we study only the linear rules and we will take radius 1. However, we will only 1D-CA defined by local rule (1) under modulo  $p$  addition and  $p \geq 2$  is a prime number.

**Definition 2.5** The vector  $N^t = [x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t]$  is called a configuration of the 1 D CA at time  $t$ , therefore  $N^0$  is the initial configuration.

We define the local rule as follows:

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} w_1 x_n^t + w_2 x_1^t \pmod p, & i = 1 \\ w_1 x_{i-1}^t + w_2 x_i^t \pmod p, & 2 \leq i \leq n \end{cases} \tag{1}$$

where  $w_1, w_2 \in \mathbb{Z}_p - \{0\}$ .  $x_i^t$  stands for the state of the cell at a time  $t$ . Since the number of cells is finite.

Let us define the 1D-CA representation matrix  $T$  with PBC:

$$x_n^t [x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t] \xrightarrow{T} x_n^{t+1} [x_1^{t+1}, x_2^{t+1}, \dots, x_n^{t+1}] \tag{2}$$

$$w_1x_n^t + w_2x_1^t \quad \vec{T} \quad x_1^{t+1}$$

$$w_1x_1^t + w_2x_2^t \quad \vec{T} \quad x_2^{t+1}$$

$$w_1x_2^t + w_2x_3^t \quad \vec{T} \quad x_3^{t+1}$$

$$w_1x_3^t + w_2x_4^t \quad \vec{T} \quad x_4^{t+1}$$

.....

$$w_1x_{n-3}^t + w_2x_{n-2}^t \quad \vec{T} \quad x_{n-2}^{t+1}$$

$$w_1x_{n-2}^t + w_2x_{n-1}^t \quad \vec{T} \quad x_{n-1}^{t+1}$$

$$w_1x_{n-1}^t + w_2x_n^t \quad \vec{T} \quad x_n^{t+1}$$

Therefore, we get the rule matrix as follows:

$$T_n = \begin{pmatrix} w_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & w_1 \\ w_1 & w_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_1 & w_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_1 & w_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_1 & w_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}_{n \times n} \tag{3}$$

**Example 2.6** If we get  $n = 5$ , then we obtain the rule matrix  $T_5$  of order 5. We take into consideration a configuration of size  $1 \times 5$  with periodic boundary conditions.

$$x_5^t[x_1^t \ x_2^t \ x_3^t \ x_4^t \ x_5^t]x_1^t$$

This configuration is represented by an information matrix as follows:

$$[X]_{1 \times 5}^t = [x_1^t \ x_2^t \ x_3^t \ x_4^t \ x_5^t]$$

If we carry out local rule to whole cells of the vector  $[X]_{1 \times 5}^t$ , we obtain a new information matrix  $[X]_{1 \times 5}^{t+1}$  with entries as follows:

$$w_1x_5^t + w_2x_1^t \quad \vec{T} \quad x_1^{t+1}$$

$$w_1x_1^t + w_2x_2^t \quad \vec{T} \quad x_2^{t+1}$$

$$w_1x_2^t + w_2x_3^t \quad \vec{T} \quad x_3^{t+1}$$

$$w_1x_3^t + w_2x_4^t \quad \vec{T} \quad x_4^{t+1}$$

$$w_1x_4^t + w_2x_5^t \quad \vec{T} \quad x_5^{t+1}$$

In order to get the rule matrix  $T_5$ , we take advantage of the basis vectors.

$$T_5(E_1) = T_5(1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0) = (w_2 \ w_1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

$$T_5(E_2) = T_5(0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)^T = (0 \ w_2 \ w_1 \ 0 \ 0)^T$$

$$T_5(E_3) = T_5(0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)^T = (0 \ 0 \ w_2 \ w_1 \ 0)^T$$

$$T_5(E_4) = T_5(0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0)^T = (0 \ 0 \ 0 \ w_2 \ w_1)^T$$

$$T_5(E_5) = T_5(0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)^T = (w_1 \ 0 \ 0 \ 0 \ w_2)^T$$

Hence, we get the rule matrix  $T_5$  of order 5 which is

$$T_5 = \begin{pmatrix} w_2 & 0 & 0 & 0 & w_1 \\ w_1 & w_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_1 & w_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_1 & w_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}_{5 \times 5} .$$

### 3. REVERSIBILITY OF 1D PBCA

While studying CA, one of the basic problems is reversibility. In order to find the initial nature of CA, we must know whether CA is reversible or not. However, the problem of reversibility is a very hard problem for nonlinear situations. However, since finite linear cellular automata can be represented by a matrix, their inverse can be studied under various boundary conditions. Thus, the reversibility problem can be studied on finite fields using algebraic properties.

In order to characterize 1D PBCA on the finite field. We give the algorithm that determines under which conditions the cellular automata is reversible or not. Herein, we take advantage of matrix algebras.

We present a formula for determining the reversibility of cellular automata. We also find the criteria of reversibility of these 1D PBCA. The following Lemma gives a formula for computing the determinant of the matrix in (3).

**Lemma 3.1** We can express the determinant of the matrix  $T_n$  as follows:

$$\text{If } n = 2k, \det(T_n) = w_2^2 - w_1^2 \quad \text{for } k \geq 1$$

$$\text{If } n = 2k + 1, \det(T_n) = w_2^2 + w_1^2$$

**Example 3.2** Let  $n = 16, p = 7$ . If we take  $w_1 = 6, w_2 = 4$ . Then we get the following matrix:





## 4. CONCLUSION

In this work, we have studied 1D PBCA over finite fields with the help of matrix algebra. We have implemented a new local rule for obtaining the characteristic matrix. Consequently, we have acquired a new characteristic matrix. We have found a new formula for the reversibility criteria of cellular automata. Finally, we have given some examples of this formula. Further properties of 1-D CA other fields remain to be of great future research interest.

### Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

## REFERENCES

- Akın, H. (2021). Description of reversibility of 9-Cyclic 1D finite linear cellular automata with periodic boundary conditions, *Journal of Cellular Automata*, 16, 127–151.
- Chang, C.C. & Yang Y. C. (2020). Characterization of reversible intermediate boundary cellular automata. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 1, 1-13.
- Cinkir, Z., Akın, H. & Siap, İ. (2011). Reversibility of 1D cellular automata with periodic boundary over finite fields  $Z_{\{p\}}$ . *Journal of Statistical Physics*, 143(4), 807-823.
- del Rey, A.M. & Rodriguez, S.G. (2011). Reversibility of linear cellular automata. *Applied Mathematics and Computation*, 217(21), 8360-8366.
- Das, A.K. & Chaudhuri, P.P. (1993). Vector space theoretic analysis of additive cellular automata and its applications for pseudo exhaustive test pattern generation. *IEEE Trans. on Computers*, 42 (3), 340–35.
- Khan, A.R., Choudhury, P.P., Dihidar, K. & Verma, R. (1999). Text compression using two dimensional cellular automata. *Computers and Mathematics with Applications*, 37, 115–127.
- Neumann, J. V. (1966). The theory of self-reproducing automata. *Univ. of Illinois Press*, Urbana.
- Wolfram, S., (1983). Statistical mechanics of cellular automata. *Rev. Mod. Phys.* 55 (3), 601-644.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# MÜŞTERİ PROFİLİ VE ALIŞVERİŞ HAREKETLERİNİ BELİRLEMEDE RFM ANALİZİ VE BİRLİKTELİK KURALLARI ANALİZİ: PERAKENDE SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA\*

RFM ANALYSIS AND ASSOCIATION RULES ANALYSIS IN DETERMINING  
CUSTOMER PROFILE AND SHOPPING MOVEMENTS:  
AN APPLICATION IN RETAIL INDUSTRY

Gülfem OĞUR<sup>1</sup>

Oğuz BORAT<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1327068>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
gulfemogur@gmail.com

Geliş Tarihi / Received  
13.07.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
31.08.2023

## Öz

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte hızlı değişen pazarlama dünyası artık ürün bazlı alınan stratejilerden uzaklaşarak, müşteri faktörünün önemini anlamış ve müşteriye odak noktasına koyarak çalışmaları bu yönde yapmıştır. Bu çalışmada perakende sektöründe, müşterilerin alışverişteki davranışları analiz edilerek müşteri profilleri çıkarılıp her bir müşteri profiline uygun kampanya stratejilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, müşterilerin satın alma alışkanlıkları RFM analizi ile belirlenmiştir. RFM analizi aracılığıyla müşterinin yakın zamanda satın alma işlemi, işlem sıklığı ve satın alma büyüklüğüne göre segmentlere ayrılmıştır, sonrasında ise her segmente uygun olacak kampanya stratejileri önerilmiştir. İkinci aşamada ise veri madenciliğinde kullanılan birliktelik kuralları analizinden biri olan Apriori Algoritması kullanılarak müşterilerin satın aldıkları ürünler arasındaki bağlantıları analiz edilmiştir. Böylelikle müşterilerin hangi ürünleri birlikte satın aldıkları belirlenip kârı arttırmaya yönelik yapılabilecek stratejilere yön verilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre 10 farklı müşteri kümesi oluşturulmuştur. Harcama tutarları en yüksek olup, şirket açısından en karlı müşteri profiline “Champions” olduğu, en az kârlı ve yakın zamanda neredeyse hiç alışveriş yapmamış kayıp müşteri olarak adlandırığımız müşteri profillerinin ise “Hibernating” müşteri profiline olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Apriori Algoritması, pazar-sepet analizi, perakende sektörü, RFM analizi, veri madenciliği.

## Abstract

With today's technology, the world of fast marketing has now moved away from product-based combined strategies, understood the change in the customer factor, and the efforts to change the customer from the focal point to the point have been carried out in this direction. In this retail sales sector, it is possible to analyze the growth in shopping in the region, to create customer profiles and to present offers suitable for each customer profile. The study consists of two stages. In the first step, the product of growth was determined by RFM analysis. Throughout the RFM analysis, the recent purchase has been segmented according to transaction costs and purchase volume, then a campaign scheme has been proposed to suit each segment. In the second stage, the links between the purchased products were analyzed by the Apriori Algorithm, which is one of the association rules analysis used in data mining. In this way, sustainable strategies for which products can be purchased together and profited begin to be guided. According to the demonstration of the study, 10 different customer settings are offered. The customer profiles that have the highest expenditure amounts and the profitable customer profile for the company are “Champions”, and the customer profiles that we call the lost customers who are the least profitable and have hardly made any purchases recently are determined by the “Hibernation” customer profiles.

**Keywords:** Apriori algorithm, data mining, market-basket analysis, retail industry, RFM analysis.

\*Bu yayın Gülfem OĞUR isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

<sup>1</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.  
gulfem.ogur@istanbulticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9444-8943.

<sup>2</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.  
oborat@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-2242-6024.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte hızlı değişen ve rekabetin fazla olduğu sektörlerde; çok sayıda ve çeşitli profillerde müşterisi olan işletmeler için sahip olunan müşterileri memnun etmek ve elde tutmak, en az yeni müşteriyi elde tutmak kadar önemli bir konudur (Berger & Nasr, 1998). Bu sebeple çoğu işletme, müşteri ilişkilerini geliştirerek bu rekabetçi ortamda ayakta kalabilmek için müşteri ilişkileri yönetimi (MİY) şeklini benimsemiştir (Kumar & Reinartz, 2012). Bu stratejik yaklaşımın odağında ise müşteri segmentasyonu yer almaktadır (Blattbergs & Malthouse, 2009).

Segmentasyon, şirketlerin müşteri tercihleri ve ihtiyaçları hakkında daha fazla bilgi edinmesine yardımcı olur. Böylece şirketler, müşteri memnuniyetini ve şirket gelirlerini artırmak amacıyla hedeflenen segmentler için farklı stratejiler geliştirebilir. Bu bakımdan müşteri segmentasyonu, şirketlerin müşterileri anlamalarını ve farklı stratejiler oluşturmalarını sağlayan bir pazarlama aracı olarak kullanılmaktadır (Silva ve ark., 2019).

Hedef müşteri seçimi, müşteri odaklı pazarlamanın en önemli konularından biridir. Günümüzde, sadık, karlı ve uzun vadeli müşterilerin belirlenmesi, müşteri odaklı sektörler için en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu açıdan değerli müşterilerin belirlenmesinde en etkili ve en kolay model RFM (Recency, Frequency, Monetary) analizidir (Tsao ve ark., 2019). RFM analizi, kullanımı kolay ve yöneticiler tarafından anlaşılması kolay olduğu için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. RFM analiz yönteminde müşterinin önceki alışveriş davranışlarının yanı sıra, yapmış olduğu alışveriş sayısına ve bu alışverişlerin harcama tutarlarına da bakılarak gelecekteki satın alma davranışları belirlenmektedir.

Bu çalışma, Türkiye’de gıda perakendeciliği sektöründe varlığını gösteren bir firmanın müşteri alışveriş kayıtları kullanılarak, veri madenciliği yöntemleri ile analiz çalışması yapılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır, birinci aşamada müşterilerin en son ne zaman alışveriş yaptıkları ne sıklıkla ürün satın aldıkları ve sepet tutarları verileri baz alınarak alışverişte sergiledikleri davranışlara göre müşteri profilleri RFM analizi ile belirlenmiştir. RFM analizi ile sadık müşteri portföyünü oluşturarak müşterinin sadakatini arttıracak kampanya ve stratejiler geliştirmek amaçlanmıştır. İkinci aşamada ise birliktelik kuralları analizinden Apriori Algoritması kullanılıp müşterilerin satın aldıkları ürünler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Belirlenen ilişki kuralları üzerinden satış stratejileri geliştirilip şirketin karının artırılması amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde literatürdeki RFM Analizi ve Birliktelik analizi ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Agrawal ve ark., (1993) çalışmalarında; büyük bir perakende şirketinden elde edilen satış verileri arasındaki ilişkileri belirlemek için RFM analizi kullanılmıştır. RFM analizi aracılığıyla çeşitli stratejiler geliştirilip şirketin karının artırılması amaçlanmıştır.

Bult & Wansbeek, (1995) çalışmalarında; hedeflenen karı en üst seviyeye çıkartmak için hangi müşteri profillerinin promosyon ve kampanya e-posta alması gerektiğini belirlemeye çalışmışlardır. Bu kararı vermek için müşteri değerlendirme ölçütü olarak da bilinen RFM analizi kullanmışlardır. Yapılan RFM analizi ile müşterilere verilecek tekliflere yanıt verme olasılığı yüksek olan kümeler belirlenmiştir.

Akpınar, (2000) çalışmasında; veri madenciliği kümeleme tekniklerinden biri olan “Ayrırcı Hiyerarşik Kümeleme” tekniği ile Uşak Üniversitesi Merkez Kütüphanesine kayıtlı olan öğrenci bilgilerini inceleyerek öğrencilerin kitap alma alışkanlıkları üzerine çeşitli istatistiksel bilgiler elde etmiştir. Ayrırcı hiyerarşik kümeleme analizi ile veriler 11 adet kümeye ayırmıştır. Ayrılan kümeler kendi içinde homojen, farklı kümeler arasında ise heterojen yapıdadır. Oluşturulan kümeler veri madenciliğinin görselleştirme tekniği kullanılarak çeşitli tablo ve grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan tablo ve grafiklerden çıkarımlar yapılarak öğrencilerin kütüphaneden kitap alma davranışları incelenmiştir.

Salvatore ve ark., (2004) çalışmalarında; veri madenciliği yöntemlerinden biri olan FP- Growth algoritmasını kullanarak minimum destekle oluşan öge kümeleri belirlemek amaçlanmıştır. Uygulanan algoritmayı daha sezgisel hale getirmek için Pazar sepet analizi kullanmışlardır. Pazar sepet analizi ile müşteriler tarafından satın alınan ürünler arasında sık görülen ilişkiler bulmuşlardır.

Gao, (2004) çalışmasında; Kümeleme algoritmasını kullanarak, veri yığınlarını anlaşılabilir formata çevirmeyi amaçlamıştır. Kullanılan algoritmanın performansını değerlendirmek için iki popüler kümeleme algoritması kullanılıp çıkan sonuçları yorumlamıştır.

Özçakır ve Çamurcu, (2007) çalışmalarında; birliktelik analizini kullanılarak bir firmanın pastane satış verileri üzerinden bir yazılım geliştirdiler. Tasarlanan yazılımda apriori algoritması kullanılarak, birlikte satın alınan ürünler arasındaki ilişkileri tespit etmişlerdir.

Chang ve Lai, (2009) çalışmalarında; Taipei şehrine gelen müşterilerin memnuniyetini sağlayıp turist sayısını arttırmak için turistlerin seyahatlerindeki davranışlarını incelemişlerdir. Analiz sonucunda pazarlama stratejileri tasarlamışlardır.

Timor ve ark., (2011) çalışmalarında; hazır giyim perakende sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın, müşteri alışveriş kayıtları ele alınmışlardır. Yapılan analizin birinci aşamasında “Birliktelik Kuralları Analizi” kullanılarak müşterilerin alışverişlerinde birlikte aldıkları ürünler arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmışlar, daha sonra “Kümeleme Analizi” ile müşteriler, demografik niteliklerine göre gruplandırmışlar.

Erpolat, (2012) çalışmasında; veri madenciliği yöntemlerinden Apriori algoritmasını kullanmıştır. Otomotiv sektörüne ait olan verileri ele alıp Apriori algoritması aracılığıyla birlikte satın alınan ürünleri tespit edip, çeşitli kampanya çalışmaları önerilmiştir.

Sadiqmal, (2015) çalışmasında; veri madenciliğinde birliktelik kuralı algoritmalarından olan Apriori algoritmasını tıpla ilgili verilere uygulayıp, modern tıp bilgilerinin saklandığı veri tabanından faydalı çıkarımlar yaparak doktorlara yardımcı olacak karar destek sistemleri geliştirmiştir.

Zabkowski, (2016) çalışmasında; Geç ödemelerin RFM’sine karşılık gelen telekomünikasyon verilerini kullanarak müşteri ödeme haczini tahmin etmek için yenilik, sıklık ve parasal değer yaklaşımının uygulamasını sunmaktadır.

Ateş ve Karabatak (2016) çalışmalarında; veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kuralını incelemişlerdir. Birliktelik kuralında en önemli değer olan destek değerinin seçilme sorununu ortadan kaldırmak için çoklu destek değeri kullanılan yeni bir yaklaşım önermektedirler.

Sözen ve ark., (2017) çalışmalarında; Apriori algoritmasını kullanarak mobilya seçiminde önemli bir faktör olan estetik, dayanıklılık, işlevsellik ve maliyet analizleri yapmışlardır. Buna istinaden farklı müşterilerin mobilya tercihlerinde hangi kriterleri önemsendiği belirlemiştir.

Lai ve ark., (2018) çalışmalarında; döviz piyasalarındaki para birimleri arasındaki ilişkiler ele alınarak 2011 ile 2016 yıllarına ait dönemlerde Tayvan yatırımcılarının döviz hesaplarını değerlendirmek amaçlanmıştır. Tayvan para birimi ile 15 ülkenin döviz kuru verileri kullanılarak Birlikte Kuralları Analizi ve Apriori algoritması uygulanmıştır.

Yüksel ve Zontul, (2019) çalışmalarında; FP-Growth algoritması kullanarak sepet analizi tekniğini uygulamışlardır. Bu teknikle birlikte dağıtık hesaplama sistemini de kullanarak iş yükünü parçalara bölmüş ve büyük boyutlu verileri işleyerek daha hızlı sonuçlara ulaşmışlardır.

Yıldırım, (2019) çalışmasında; veri madenciliği tekniklerinin firmalara sağladığı değerlerden biri olan müşteri sadakatini sağlama amacı ile müşteri kayıtlarını kullanarak müşteri segmentasyonu çalışması yapmıştır. Oluşturulan müşteri kümeleri için geri kazanma ve müşteri sadakatini artırma amacı ile birlikte kuralları analizi kullanmıştır. Bu analiz ile kurulan modellerin sonuçlarına göre hedef müşteri kitlesini ve gelecek çalışmalar için pazarlama stratejileri önermiştir.

Rençber ve Özdemir, (2019) çalışmalarında; Almanya ve Türkiye'deki veri uzmanı olarak çalışan bireylerin LinkedIn profillerindeki eğitim bilgileri, çalışma geçmişleri ve yetenekleri veri madenciliği yöntemlerinden RFM analizi kullanılarak elde edilen bilgilerle istatistiksel analizler yapılmıştır. Almanya ve Türkiye'deki veri uzmanlarının profilindeki bilgiler karşılaştırılarak veri alanında çalışacak uzmanlardan beklenen kriterler belirlenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçların, veri alanında uzmanlaşmak isteyenlere rehberlik edeceği düşünülmüştür.

Kabasakal, (2020) çalışmasında; veri madenciliği yöntemlerinden müşteri ilişkileri yöntemini kullanarak müşterilerle ilişkilerini kuvvetlendirmeyi hedefleyip müşterilere elindeki verilere istinaden puanlama belirleyip bu puanlarla göre pazarlama stratejisi oluşturmuştur.

Taşabat ve Akça, (2020) çalışmalarında; veri madenciliği yöntemlerinden RFM analizini metal sektöründe kullanarak buna istinaden de geri dönüşüm projelerinden destek almayı başararak müşterilere veri sonucuna göre indirimler ayarlamışlardır.

İncelenen çalışmalar Tablo 1'de özet olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. RFM analizi ve Apriori Algoritması Literatür Araştırması

Yazarlar	Yıl	Açıklama	Yöntem
Agrawal, ve ark.	1993	Büyük verileri sınıflandırıp ilişkilendirilerek, gömülü kuralların keşfedilmesi	RFM analizi
Bult ve Wansbeek	1995	Müşteri profillerine göre kampanya ve promosyonların belirlenmesi	RFM analizi
Akpınar ve ark.	2000	Kütüphaneye kayıtlı olan öğrencilerin kitap alma davranışlarının analizi	Ayrılcı Hiyerarşik Kümeleme
Gao ve ark.	2004	Veri yığınlarını anlamlı hale çevirip değerlendirilmesi	Kümeleme algoritması
Salvatore ve ark.	2004	Öge kümeleri belirlenerek müşterilerin satın aldıkları ürünler arasındaki ilişkilerinin belirlenmesi	FP-Growth algoritması, Pazar-Sepet analizi

Özçakır ve Çamurcu	2007	Bir pastanenin verilerinden yararlanılarak birlikte satın alınan ürünler arasındaki ilişkinin belirlenmesi	Birliktelik Analizi
Chang ve Lai	2009	Taipei şehrini seyahate gelen turistlerin toplu taşıma araçlarını seçme konusundaki düşüncelerini araştırmak ve gelen turistlerin seyahat davranışlarının onların algılarını nasıl etkilediği analizi	Faktör analizi
Timor ve ark.	2011	Bir perakende sektöründe müşterilerin aldıkları ürünler üzerinden analizlerin yapılması	Birliktelik Kuralları Analizi ve Kümeleme Analizi
Erpolat ve ark.	2012	Otomotiv sektöründe birlikte satın alınan ürünleri tespit ederek uygulanacak kampanyaların belirlenmesi	Apriori Algoritması
Sadıqmal ve ark.	2015	Modern tıp verilerinden yararlanılarak doktorlara yardımcı olacak karar destek sistemlerinin belirlenmesi	Birliktelik Analizi
Zabkowski ve ark.	2016	Telekomünikasyon şirketinde hacizli müşterilerin borçlarının değerlendirilmesi	RFM analizi
Ateş ve Karabatak	2016	Çoklu destek değeri ile seçimlerin belirlenmesi	Birliktelik Kuralı
Sözen ve ark.	2017	Mobilya seçiminde müşterilerin tercihlerinde önemsedikleri kriterlerin belirlenmesi	Apriori Algoritması
Lai ve ark.	2018	Tayvan yatırımcılarının döviz hesaplarının değerlendirilmesi	Apriori algoritması
Yüksel ve Zontul	2019	İş yükü parçalara bölünerek büyük boyutlu verilerin hızlı işlenmesi	Sepet analizi
Yıldırım ve ark.	2019	Müşteri sadakatini sağlamak için müşteri segmentasyonu yapılması	Veri madenciliği
Rençber ve Özdemir	2019	Almanya ve Türkiye'deki veri uzmanlarının LinkedIn profillerindeki bilgilerin analizi	Veri madenciliği
Kabasakal ve ark.	2020	Müşterilere uygun pazarlama stratejileri oluşturulması	Veri madenciliği
Taşabat ve Akça	2020	Metal sektöründe müşteri analizi yaparak, analiz sonucunda indirimlerden yararlanacak müşterilerin belirlenmesi	RFM analizi

Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde RFM analizi ve Birliktelik analizinin perakende, tıp, otomotiv sektörlerinde kullanımının giderek yaygınlaştığı tespit edilse de perakende sektöründe değerlendirilmesi gereken ciddi bir çalışma alanı bulunduğu görülmektedir. Bu incelemeler sonucunda, RFM analizinin K-means algoritması ile birlikte tercih edildiği gözlemlenmiştir. Fakat hem RFM analizinin hem de Apriori algoritmasının birlikte değerlendirildiği müşteri segmentasyonu çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma ile RFM analizi ve Apriori algoritması birlikte kullanılarak literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise, çalışma bulguları ile perakende sektöründeki şirketlerin müşterilere daha iyi hizmet vermesine katkı sağlamaktır.

### 3. METODOLOJİ

#### 3.3. RFM Analizi

RFM kavramı 1995 yılında Jan Roelf Bult ve Tom Wansbeek tarafından sunularak ekonomik modellerin istatistiksel yöntemlerle birleştirilip bir pazarlama tahmini uygulaması olarak tanıtılmıştır (Bult & Wansbeek, 1995).

RFM modeli, genellikle e-ticaret perakende sektöründe riskli müşterileri kazanmak için kampanya uygulaması, bankacılık sektöründe ise kredi ve senet işlemlerinde kullanılmaktadır. Bult ve Wansbeek RFM kavramının baş harflerini Yenilik (Recency)-Sıklık (Frequency)-Para Değer (Monetary) şeklinde tanımlamıştır

Kabasakal, (2020). Yenilik, müşterinin en son ne zaman alışveriş yaptığının karşılığıdır. Son alışveriş tarihi ile bugünün tarihinin farkının alınması ile bulunmaktadır. Sıklık, müşterinin bugüne kadar hangi sıklıkla alışveriş yaptığının bir göstergesidir. Monetary ise müşterinin ne kadar harcama yaptığı anlamına gelmektedir.

RFM analizi müşterileri kümelerine ayırarak hedef kitleyi en doğru şekilde belirlemeyi amaçlamıştır. Ayrıca RFM kavramı Müşteri İlişkileri Yöntemi (CRM) modeli olarak tanımlanmıştır (Erpolat & Akça, 2020). CRM modelinde kritik müşteri kümelerine odaklanarak yüksek bir yatırım getirisi sağlamak hedeflenmiştir.

Şirketler RFM analizi yaparken sadece kar-zarar tablolarını incelemeyi, aynı zamanda hangi müşteri kümelerine daha çok yatırım yapılacağını, hangi müşterilere kendilerini hatırlatacaklarını, müşterilerini kaybetmemek için nasıl aksiyon alınabileceğini, yeni müşteri kazanmak için neler yapılması gerektiğini ya da kaybetmek üzere oldukları müşterilerini tespit ederek nasıl tedbir almaları gerektiği üzerinde çalışmalar yaparak pazarlama aktivitelerini geliştirip müşteri sadakatini sağlayabilirler (Orbak, 2022).

Müşteri sadakatini etkileyen 4 önemli faktör şunlardır:

**Güven:** Müşteri taleplerini karşılama, ürün kalitesi, dürüstlük ve destek gibi kavramları içermektedir.

**Umursanmak:** Müşteriye değerli olduğu izlenimini kazandırmak önemlidir. Böylece müşteri sadakati artmış olur.

**Vazgeçilmezlik:** Vazgeçilmezlik müşteri ilişkileriyle doğrudan bağlantılı olmadığı düşünülse de pazarlama ve satış ile ilişkili olduğundan bu faktör göz ardı edilemez.

**Ödüllendirme:** Vazgeçilmezlik faktörünü destekleyen bir faktör olup müşteri sadakatini etkileyen faktörleri analiz etmek için kullanılır (Aktepe ve ark., 2018).

#### 3.2. Birliktelik Kuralları Analizi

Veri madenciliğinde kullanılan ilk yöntemlerden birisi de birliktelik kuralları analizidir (Agrawal ve ark., 1993). Birliktelik analizi, veri tabanında bulunan veri yığınları arasındaki bağı belirleyerek, firmaların alacakları kararlarda büyük rol oynamaktadır. Bu verilerle firmalar müşterilerin alışverişlerindeki alışkanlıklarını belirlemeye çalışır. Firmalar, tespit edilen alışveriş alışkanlıkları sayesinde etkili bir pazarlama ve satış olanağına sahip olmaktadır.



Pazar sepet analizi olarak da bilinen birliktelik kuralı analizi, müşterilerin birlikte satın aldığı ürünler hakkında bilgi vermektedir (Yıldırım, 2019). Birliktelik kuralı analizindeki amaç; alışveriş sırasında müşterilerin sepetinde bulunan ürünler arasındaki ilişkiyi bulmak, bu ilişkiyle beraber müşterilerin alışverişlerinde sergiledikleri davranışları tespit etmektir (Özçakır & Çamurcu, 2007).

Bu analizin sonucunda müşterilere düzenlenecek kampanya stratejileri, marketlerdeki ürünlerin raflarda yerleştirilmesi, mağaza düzeninin tasarımı ve raflarda birlikte sunulacak, satılacak ürünlerin tayin edilmesinde kullanılır (Alan, 2012). Perakendecilik sektöründeki firmalar bu metodu, müşterilerin bir ürünü satın aldığı anda, o ürünle birlikte sepetine başka hangi ürünü ekleyeceğini belirlemek için kullanır.

Birliktelik kuralları analizinin bir başka amacı da satılan ürünler arasındaki minimum destek ve güven oranlarının tespit edilmesidir. Güven ve destek kavramları birliktelik kuralları analizinin iki önemli ölçüsüdür. Bunlar kullanıcı tarafından belirlenen değişkenlerdir (Sadiqmal, 2015). Oluşturulan kuralın doğruluğunu ölçmek için güvenilirlik, veri tablosunda oluşturulan kuralın ne kadar sıklıkla gerçekleştiğini belirlemek için ise destek ölçütü kullanılır (Erdoğan ve ark., 2015).

$A \rightarrow B$  birlikteliği için destek ve güven değerleri aşağıdaki gibidir (Webb, 2003).

$$\text{Destek } (A \rightarrow B) = \frac{\text{sayı}(A,B)}{\text{Tüm alışverişler}} \quad (1)$$

$$\text{Güven } (A \rightarrow B) = \frac{\text{sayı}(A,B)}{\text{sayı}(A)} \quad (2)$$

A ve B ürünlerinin müşteri tarafından satın alınmasındaki ilişkinin güvenilebilir olması için her iki ölçüt değerinin oldukça yüksek olması gerekmektedir (Erpolat, 2012).

Bu ilişki yaygın olan bir örnek ile açıklanabilir: “Bira içeren %30 alışverişin, %2’si aynı zamanda çocuk bezi de içermektedir.” Bu örnekte %30 güven oranını, %2 ise bu güven oranına olan desteği açıklamaktadır (Emel ve ark., 2005).

Kuralların değerlendirilmesi için kullanılan bir başka ölçüt Lift (Kaldıraç) oranıdır. Lift oranı korelasyon analizinde kullanılarak bir kuralın ne kadar ilginç olduğunu tespit etmektedir (Ateş & Karabatak, 2017). Lift değerinin 1’ den küçük veya büyük olması ilginçliği arttırmakla birlikte “1” değerini alması ilginçliğin olmadığını göstergesidir (Jabbour ve ark., 2018).

Lift oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Lift } (A \rightarrow B) = \frac{\text{destek } (A \cap B)}{\text{destek } (A) * \text{destek } (B)} \quad (3)$$

Birliktelik kuralı analizi için Conviction (Kanaat) ve Leverage (Kaldıraç) ölçütleri de kullanılmaktadır.

Conviction ölçütü A elemanı varken, B elemanı olmadan görülme olasılığı olarak hesaplanır. Hesaplama sonucunda Conviction değeri 1 ise A ve B elemanları birbiriyle ilişkisinin olmadığını, Conviction değeri 1’den farklı ise bağıntılı bir kural olduğunun göstergesidir (Yüksel & Zontul, 2019).

$$\text{Conviction } (A \rightarrow B) = \frac{1 - \text{destek}(B)}{1 - \text{güven}(A,B)} \quad (4)$$

Leverage ölçütü ise müşterinin satın aldığı ürünler üzerinden A ve B ürünlerinin beraber satın alınmasının, A ve B'nin birlikte satın alınmamasından ne kadar fazla olduğunun göstergesidir (Lia & Lu, 2018).

$$\text{Leverage (A} \rightarrow \text{B)} = P(A \cap B) - (P(A) * P(B)) \quad (5)$$

Birliktelik kuralına bağlı olarak geliştirilen bazı algoritmalar şunlardır; AIS (Agrawal ve ark., 1993), Apriori (Agrawal & Srikant, 1994), CHARM (Zaki & Hsiao, 2002), RARM (Das ve ark., 2001). Bu algoritmalar içerisinde ilk olanı AIS, en bilineni ise Apriori algoritmasıdır (Ayberkin & Özen, 2019).

### 3.2.1. Apriori algoritması

Apriori algoritması, olayların birlikte gerçekleşme durumunu anlatan veri madenciliği yöntemlerinden biridir (Sözen ve ark., 2017). Bu yöntem ismini bir önceki adımdaki verileri kullandığından dolayı “prior” kelimesinden almaktadır (Agrawal & Srikant, 1994).

Apriori algoritması, temelinde birliktelikleri keşfetmek için tekrarlayan bir niteliğe sahiptir (Han & Kamber, 2006). Birliktelik kuralı analizinin ilk aşaması için kullanılan Apriori Algoritması, sık tekrarlanan öğeler madenciliğinde en çok kullanılan algoritmadır. Bu algorithmada özellikler ve veri, Boolean ilişki kuralları ile değerlendirilir (Gao, 2004).

Bununla birlikte veri setinde sık geçen öğe kümelerinin belirlenmesinde kullanılır. Elde edilen küme bir sonraki adımda tüm alt kümeleri bulmak için kullanılır. Alt kümelerin her birinin bulunabilmesi için veri seti detaylı bir şekilde taranmalıdır. Bu taramalar esnasında analiz yapılacak alanı daraltmak ve verimliliği artırmak için Apriori algoritması kullanılır (Han ve ark., 2011). Bu özelliğe göre eğer k-öge kümesi minimum destek ölçütü değerini sağlıyorsa, oluşturulan bu kümenin alt kümeleri de minimum destek ölçütünü sağlar. (Salvatore ve ark., 2004). Her tarama bir önceki taramada önemli görülen veriden başlar. Bu önemli görülen verilerden gruplar oluşturulur. Bu tarama süreci yeni nesne kümelerini bulana kadar devam eder (Emin ve ark., 2015). Taramanın sonucunda hangi veri kümesi önemli olduğu belirlenir. (Çöllüoğlu ve ark., 2013)

## 4. UYGULAMA

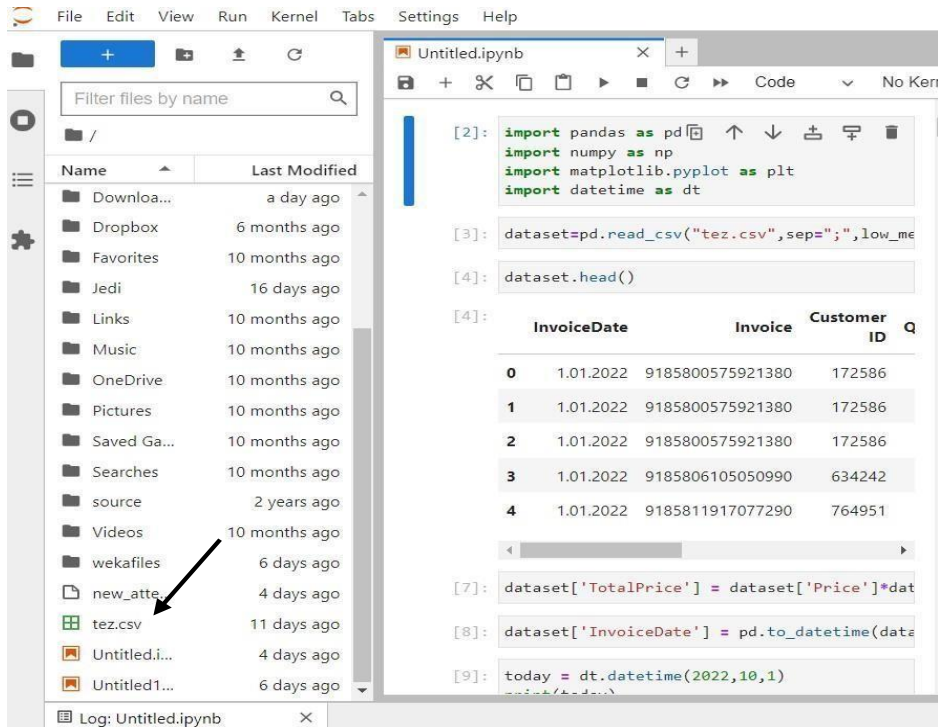
Bu çalışmada, gıda perakende sektöründe varlığını gösteren firmadan alışveriş yapan müşterilerin alışveriş kayıtları ele alınarak RFM analizi ile Apriori algoritması kullanılmıştır. Yapılan analizde, konu olan firmanın müşterilerini segmente ederek yapılacak kampanyalar için müşteriler önceliklendirip, müşterilerin satın aldıkları ürünlerin arasındaki ilişkiler belirlenerek çeşitli pazarlama stratejileri geliştirilip önerilerde bulunulması amaçlanmıştır. Örneklem olarak Türkiye'nin öncü gelen gıda perakende sektöründe hizmet veren bir firmanın SAP programı yardımıyla 01.01.2022-31.10.2022 tarihleri arasındaki on aylık sürede alışveriş yapan 18.617 tane müşterinin, 61.712 adet satış kaydı kullanılmıştır. Müşterilere ait veri seti; her müşteriye ait bir kimlik numarası, sipariş numarası, alışverişin yapıldığı tarih, satın alınan ürünün adı, kodu, fiyatı ve hangi üründen kaç adet alındığına dair kayıtlardan oluşmaktadır.

Analizler için Python programı ile öncelikle RFM analizi yapılarak müşterilerin satın alma alışkanlıklarını ölçüp müşteri segmentleri belirlenmiştir. Daha sonra birliktelik kurallarının elde edilmesi için Apriori algoritması kullanılarak satın alınan ürünler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Şekil 1' de müşteri alışveriş kayıtlarının olduğu ana tablonun bir kesiti gösterilmektedir.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Date	Invoice	Custom	Produ	Stock	Name	Price
2	01.01.2022	9185800575921383	172586	1	22000398	KonsantreYumuşatıcıLovely1440ml	24.9
3	01.01.2022	9185800575921383	172586	1	12000013	YarımYağlıSüt1L	6.5
4	01.01.2022	9185800575921383	172586	1	20000948	DomatesKokteylPaket-kg	11.89
5	01.01.2022	9185806105050997	634242	1	22001891	BionetKlozetBlokÇeşitleri2Adet	8.95
6	01.01.2022	9185811917077294	764951	6	13000091	Su1,5L	9.24
7	01.01.2022	9185811182437974	763529	2	25001890	AlışverişPoşetiTekli	0.5
8	01.01.2022	9185811182437974	763529	4	12002640	Süt200ml	9
9	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	22001968	ÇamaşırSuyuUltra1250Ml	9.5
10	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	22000468	YağÇözücüLimon750ml	7.9
11	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	28000573	DorbiHamurKabartmaTozu10x10g	2.75
12	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	28000575	DorbiKakao50g	2.75
13	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	28000574	DorbiVanilya5x10g	2.5
14	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	18002041	GalleSirkeElma750ml	3.5
15	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	18002047	GalleTurşuSalatalık680g	6.5
16	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	25001550	KoroplastKesilmişYağlıPişirmeKağıdı16Adet	13.1
17	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	28000193	TamBuğdayUnluEkmek350g	6.15
18	01.01.2022	9185811182437974	763529	1	14001902	PirinçBaldoPirinçBaldo1000g	14.95
19	01.01.2022	9185811182437974	763529	3	13000090	Su5L	13.5
20	01.01.2022	9185811182437974	763529	9	17000192	ÜlkerAlbeniBarÇikolataKaramelli40g	15.3
21	01.01.2022	9185788901911247	333961	3	25001890	AlışverişPoşetiTekli	0.75
22	01.01.2022	9185800209619938	487986	3	25001890	AlışverişPoşetiTekli	0.75
23	01.01.2022	9185808649224398	800144	2	25001890	AlışverişPoşetiTekli	0.5
24	01.01.2022	9185808649224398	800144	1	20000812	ArmutDeveci-kg	5.06
25	01.01.2022	9185800209619938	487986	2	14001937	MakarnaBurgu500g	6.9
26	01.01.2022	9185800209619938	487986	2	14001936	MakarnaFiyonk500g	6.9

Şekil 1. Müşteri Alışveriş Kayıtlarının Bulunduğu Veri Setinden Bir Kesit

Python programı yalnızca '.csv' uzantılı dosyaları kabul ettiğinden dolayı, Excel'de oluşturulmuş veri seti tablosu .csv formatında kaydedilmiştir. Sonrasında Şekil 2' de gösterildiği gibi veri seti programa yüklenmiştir.



Şekil 2. Veri Dosyasının Kütüphaneye Yüklenmesi

Çalışmanın ilk kısmı olan RFM skorlarının belirlenmesinde gerçekleşen her bir satış “Verilen Sipariş Tarihi”, “Sipariş Numarası”, “Müşteriyi ID”, “Ürün Sayısı”, “Ürünün Kodu”, “Ürünün Adı”, “Satış Tutarı” olarak analiz çalışması için girdi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan girdiler Şekil 3’de gösterilmiştir.

	InvoiceDate	Invoice	Customer ID	Quantity	StockCode	Description	Price	TotalPrice
0	2022-01-01	9185800575921380	172586	1	22000398	BingoKonsantreYumusaticiLovely1440ml	24.90	24.90
1	2022-01-01	9185800575921380	172586	1	12000013	BirsahYarimYagliSut1L	6.50	6.50
2	2022-01-01	9185800575921380	172586	1	20000948	DomatesKokteylPaket-kg	11.89	11.89
3	2022-01-01	9185806105050990	634242	1	22001891	BionetKlozetBlokCesitleri2Adet	8.95	8.95
4	2022-01-01	9185811917077290	764951	6	13000091	Su1,5L	9.24	55.44

Şekil 3. Python Veri Görseli

RFM analizinde Şekil 3’de belirtilen alışveriş kayıtlarına göre her bir müşteri için recency, frequency ve monetary değerleri baz alınarak skor ataması yapılmıştır. Belirlenen bu üç skor farklı yöntemlerle birleştirilerek RFM skoru oluşturulmuştur. Oluşturulan RFM skorları Şekil 4’ de gösterilmiştir.

Customer ID	Monetary	Recency	Frequency	Freq_Tile	Rec_Tile	Mone_Tile	Score
139483	336.35	23	1	1	1	2	112
656693	198.80	23	1	1	1	2	112
1167519	293.10	23	1	1	1	2	112
967503	2434.39	23	5	5	1	5	155
622899	17817.53	23	66	5	1	5	155

Şekil 4. Müşteri Skor Ataması

Sonuç olarak her müşteri için belirlenen recency, frequency, monetary ve bu üç değer birleştirilmesiyle oluşturulan RFM skorlarına göre müşteri segmentleri belirlenmiştir. Belirlenen müşteri segmentleri Şekil 5’deki gibidir.

```

seg_map = {
    r'[1-2][1-2]': 'Hibernating',
    r'[1-2][3-4]': 'At Risk',
    r'[1-2]5': 'Can't Loose',
    r'3[1-2]': 'About to Sleep',
    r'33': 'Need Attention',
    r'[3-4][4-5]': 'Loyal Customers',
    r'41': 'Promising',
    r'51': 'New Customers',
    r'[4-5][2-3]': 'Potential Loyalists',
    r'5[4-5]': 'Champions'
}

```

Customer ID	Monetary	Recency	Frequency	Freq_Tile	Rec_Tile	Mone_Tile	Score	Segment
139483	336.35	23	1	1	1	2	112	Hibernating
656693	198.80	23	1	1	1	2	112	Hibernating
1167519	293.10	23	1	1	1	2	112	Hibernating
967503	2434.39	23	5	5	1	5	155	Can't Loose
622899	17817.53	23	66	5	1	5	155	Can't Loose

Şekil 5. Müşteri Kümelerini Belirleme

Yapılan RFM analizi sonucunda müşteriler 10 farklı segmente ayrılmış olup Şekil 6'da gösterilmiştir.

Segment	Recency			Frequency			Monetary		
	mean	count	max	mean	count	max	mean	count	max
Need Attention	160.426291	1879	189	1.000000	1879	1	379.282491	1879	27509.78
New Customer	83.201021	2547	131	2.781311	2547	4	1257.545842	2547	27031.90
Champions	67.572530	2854	131	11.543798	2854	132	7249.472207	2854	1064178.67
At Risk	296.770588	170	345	3.411765	170	9	1375.047471	170	7038.40
Loyal Customers	89.141404	2065	131	1.000000	2065	1	442.836291	2065	12269.46
Potential Loyalist	179.515416	1719	267	4.543339	1719	28	2203.576719	1719	170993.30
Can't Loose	159.002755	726	189	2.000000	726	2	811.482672	726	9663.75
Hibernating	319.511170	3044	366	1.000000	3044	1	358.645618	3044	10397.92
Promising	257.071140	1237	357	2.000000	1237	2	790.088941	1237	7655.60
About to Sleep	228.655303	2376	267	1.000000	2376	1	432.630345	2376	9613.08

Şekil 6. Müşteri Kümeleri

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Apriori algoritması kullanılarak müşterilerin satın aldıkları ürünler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Böylelikle çalışmada kampanyaların verimliliğini önceden tespit edilmesi sağlanmıştır.

Apriori algoritmasının çalışması için birliktelik kuralı kütüphanelerinin Python programına dâhil edilmesi gerekmektedir. Şekil 7' de verildiği gibi python kodları ile süreç başlatılmıştır.

```
[38]: !pip install mlxtend

Requirement already satisfied: mlxtend in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (0.21.0)
Requirement already satisfied: numpy>=1.16.2 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (1.21.5)
Requirement already satisfied: scipy>=1.2.1 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (1.9.1)
Requirement already satisfied: joblib>=0.13.2 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (1.1.0)
Requirement already satisfied: matplotlib>=3.0.0 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (3.5.2)
Requirement already satisfied: pandas>=0.24.2 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (1.4.4)
Requirement already satisfied: scikit-learn>=1.0.2 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (1.0.2)
Requirement already satisfied: setuptools in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from mlxtend) (63.4.1)
Requirement already satisfied: pillow>=6.2.0 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (9.2.0)
Requirement already satisfied: python-dateutil>=2.7 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (2.8.2)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.0.1 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (1.4.2)
Requirement already satisfied: fonttools>=4.22.0 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (4.25.0)
Requirement already satisfied: packaging>=20.0 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (21.3)
Requirement already satisfied: pyparsing>=2.2.1 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (3.0.9)
Requirement already satisfied: cycloper>=0.10 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (0.11.0)
Requirement already satisfied: pytz>=2020.1 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from pandas>=0.24.2->mlxtend) (2022.1)
Requirement already satisfied: threadpoolctl>=2.0.0 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from scikit-learn>=1.0.2->mlxtend) (2.2.0)
Requirement already satisfied: six>=1.5 in c:\users\pcx\anaconda1\lib\site-packages (from python-dateutil>=2.7->matplotlib>=3.0.0->mlxtend) (1.16.0)
```

Şekil 7. Pip Install Komutu ile Paket Program Yükleme

Apriori algoritması, binary (1, 0) ilişki kuralları içerdiği için müşterinin sepetinde ürün varsa o ürünün adetine bakılmaksızın 1, eğer müşterinin sepetinde ürün yoksa matriste 0 değerini alır. Oluşturulan matris Şekil 8’de gösterilmiştir.

Description	.PitaEkmegi4'lu	10"DijitalYaziTahtasi	10'luGezenTavukYumurtasiMBoy(53-62g)	10'luOmegaYumurtaMBoy(53-62g)	10'lugezenTavukYumurtasiMBoy(53-62g)
Customer ID					
3599	0	0	0	0	0
3784	0	0	0	0	0
7423	0	0	0	0	0
8701	0	0	0	0	0
10427	0	0	0	1	0

5 rows x 7486 columns

Şekil 8. Birliktelik Analizi için Oluşturulan Matris

Apriori algoritması ile en çok satılan ürünler tespit edilip satılan ürün listesi Şekil 9’ da gösterilmiştir.

support	itemssets
0.181662	(Patates-kg)
0.156255	(Sogan-kg)
0.151313	(Ekmek1Adet)
0.126766	(Maydonoz-Adet)
0.119300	(MuzYerli-kg)
0.116184	(Limon-kg)
0.114304	(30'luYumurtaMBoy(53-62g))

Şekil 9. Support Değerlerinin Hesaplanması

Çalışma sonunda elde edilen çıktılara ait birliktelik kurallarının bir kısmı Şekil 10'da verilmiştir.

antecedents	consequents	antecedent support	consequent support	support	confidence	lift	leverage	conviction
(Sogan-kg)	(Patates-kg)	0.156255	0.181662	0.113284	0.724991	3.990883	0.084898	2.975682
(Patates-kg)	(Sogan-kg)	0.181662	0.156255	0.113284	0.623596	3.990883	0.084898	2.241591
(Limon-kg)	(Patates-kg)	0.116184	0.181662	0.071870	0.618585	3.405146	0.050764	2.145534
(Maydonoz-Adet)	(Patates-kg)	0.126766	0.181662	0.070044	0.552542	3.041597	0.047015	1.828862
(30'luYumurtaMBoy(53-62g))	(Patates-kg)	0.114304	0.181662	0.050438	0.441259	2.429014	0.029673	1.464612

Şekil 10. Birliktelik Analizi Tablosu

Elde edilen sonuçlar ile support, confidence ve lift değerleri Pazar-Sepet Analizinde çok önemli fikirler vermektedir. Support değeri, satın alınan ürünlerin veri seti içerisindeki oranını, confidence değeri satın alınan ürünler arasındaki ilişkiyi ve lift değeri, bir gruptaki ürünlerin ne kadar birlikte satın alındığını göstermektedir (Erpolat, 2012).

Güven (confidence) ve destek (support) değerinin yüksek olması tek bir kriter olarak birliktelik kuralının önemini ortaya koymayabilir. Bu nedenle lift değeri de dikkate alınmalıdır. Kuvvetli ilişkiler için lift değerinin 1' in üzerinde olması beklenir. (Ateş & Karabatak, 2017). Bu veriler doğrultusunda;

Şekil 10'da kırmızı ile işaretlenen kurala göre; soğanın alışverişte tek başına görülme olasılığı %15'dir. Patatesin alışverişte tek başına görülme olasılığı %18'dir. 100 alışverişin 11'inde mutlaka soğan ve patates beraber satın alınmıştır. Soğan satıldığında patatesin de satılma oranı %72 olarak sonuçlandırılmıştır. Soğanın satılması patatesin satın alınma olasılığını 3,99 kat arttırmaktadır.

Sarı ile işaretlenen kurala göre ise; 30'lu yumurtanın alışverişte tek başına görülme olasılığı %11'dir. Patatesin alışverişte tek başına görülme olasılığı %18'dir. 100 alışverişin 5'inde mutlaka yumurta ve patates beraber satın alınmıştır. Yumurta satıldığında patatesin de satılma oranı %44 olarak sonuçlandırılmıştır. Yumurtanın satılması patatesin satın alınma olasılığını 2 kat arttırmaktadır.

Yapılan analiz neticesinde birliktelik ilişkileri yüksek olan ürünler için kampanyalar düzenlenerek şirketin cirosu artırılır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde perakende sektöründe yaşanan rekabet gün geçtikçe artmaktadır. Yaşanan yoğun rekabet ortamında perakendecilerin hayatta kalabilmelerinin yolu sahip oldukları müşteri kitlelerini iyi tanımalarıdır. Firmaların müşteri kitlelerini net bir biçimde belirlemesi rekabetin etkisini çok hissetmemekle birlikte sektördeki faaliyetini devam ettirmesini sağlar.

Müşteri kitlelerinin belirlenmesinde perakende firmalarının kolaylıkla uygulayabilecekleri, veri odaklı müşteri alışveriş davranışlarını inceleyen, popüler, ucuz ve güvenilir bir teknik olan RFM analizi kullanılır (Zabkowski, 2016). Perakende firmalarının sahip oldukları müşterilere ait verilerin kullanılarak RFM analizi ile anlamlı hale getirilmesi müşteri kümelerinin daha net bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır. RFM analizi ile müşteriler üç temel kategoride puanlanarak değerlendirilir: müşterinin en son ne zaman satın alma işlemi gerçekleştirdiği, müşterinin ne sıklıkla alışveriş yaptığını ve müşterinin ne kadar tutarda harcama yaptığına bakılarak kümelere ayırıp, bu kümelere uygun isimler verilmiştir. Bu sayede kümelere ayrılmış müşterilere farklı davranılarak uygulanacak tutundurma çabaları daha etkin bir hale gelecektir. Ancak, müşterilerin yalnızca belirli kümelere ayrılması yeterli olmayacaktır. Müşterilerin hangi ürünleri tercih ettiklerinin tespit edilmesi perakende firmaları açısından özellikle ürünlerin satışlarını arttırmada önemli bir faktördür.

Bu çalışmada bir gıda sektöründe hizmet veren perakende firmasına ait müşteri verileri kullanılarak, RFM analizi ile müşteri portföyü oluşturulmuştur. Oluşturulan müşteri portföyü ile müşteri sadakati arttırılmıştır. Apriori Algoritması kullanarak da müşterilerin satın alma alışkanlıkları belirlenerek karlılığı arttıracak kampanya ve değer yaratan stratejiler sunulmuştur.

Araştırma kapsamında firmadan alınan veriler aylara göre sipariş tarihi, sipariş numarası, müşteri id, ürün sayısı, ürünün kodu, ürünün adı, satış tutarı bilgilerden oluşmaktadır. Öncelikle veri dosyası, veri madenciliği yazılımında kullanılabilecek hale dönüştürülmüştür. Düzenlenen verilerde toplam 18617 müşteriye ait 61712 tane alışveriş hareketi olduğu görülmüştür. Dönüştürülen veriler Python yazılımında veri madenciliği yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır; birinci aşamasında 18617 müşteriye ait alışveriş kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen RFM analizi ile ilk olarak müşterilerin her birinin alışveriş kayıtlarına göre Recency, Frequency ve Monetary değerleri bulunmuştur. Recency, müşterinin son alışverişinden bugüne kadar geçen süre bilgisini verir. Bugünün tarihi ile son satın alma tarihi arasındaki farkı ifade eder. Frequency, müşterinin ne sıklıkla alışveriş yaptığını gösteren metriktir. Monetary ise müşterinin alışverişinde yaptığı harcamalarının toplamıdır. Bulunan RFM değerleri 1 ile 5 arasında puanlanarak her bir müşteriye skor ataması yapılmıştır. Yapılan skor atamalarına göre müşteriler 10 farklı segmente ayrılmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre, sepet tutarları en yüksek olan müşteri gruplarının “Champions” ve “Potential Loyalist” olduğu görülmektedir. Şirket tarafından bu müşterileri kaybetmemek ve şirketle olan ilişkilerini güçlendirecek çalışmaların yapılması önemlidir. Bu kümede bulunan müşterilere çeşitli kampanyalar ve özel indirimler yapılarak ödüllendirilebilir. Bununla birlikte özel günlerde hediyeler verilerek müşterinin sadakati arttırılabilir.

Yüksek müşteri sayısı bulunduran “New Customer” kümesindeki müşterilerin alışveriş sıklıklarını arttırmak ve sadakati arttırmak için “Yeni Müşteri Alıştırma” programları düzenlenerek şirketin ürün ve uygulamaları tanıtılabilir. Şirket tarafından ilgili kümedeki müşterilere kendilerini hatırlatacak e-posta gönderilerek ya da telefonla ulaşarak ürün ve kampanyaların tanıtılması sağlanabilir.



“Can’t Loose” kümesi çok uzun süre önce alışveriş yapmış fakat alışveriş sıklığı yüksek olan müşteri kümesidir. Bu müşteri kümesinin şirketi terk etme olasılığı yüksek olduğu için bu müşteri kümesine özel çeşitli sadakat çalışmaları yapılarak tekrar kazanımları sağlanmalıdır. Aynı şekilde “Need Attention” ve “About to sleep” kümesindeki müşterilere özel teklifler sunulabilir ya da geçmiş sepetleri incelenerek ürün önerilerinde bulunup tekrar alışveriş yapmaları için teşvik edilebilir.

“Hibernating” kümesi, uzun zamandır alışveriş yapmamış ve şirketi çok iyi tanımayan müşterileri bulundurmaktadır. Bu kümedeki müşteriler için özel gösterilebilecek reklam çalışmaları yapılabilir. Aynı zamanda şirketi tanımaları için ürünleri tanıtan ve içerisinde kupon kodu olan e-mail gönderilebilir.

“At Risk” kümesi, şirketi tanıyan fakat uzun zamandır alışveriş yapmayan müşterileri bulundurmaktadır. Yeni müşterileri kazanmak maliyetli olduğu için bu müşterileri elde tutmak gerekmektedir. Şirket bu müşterilere kendini hatırlatacak e-mail veya sms atarak indirim kuponu tanımlayabilir.

“Loyal Customer” kümesi, alışveriş sıklığı yüksek fakat sepet tutarı düşük olan müşterileri içermektedir. Bu müşteri grubunun sepet tutarını arttırmak için popüler ürünler indirimli olarak sunulabilir.

“Promising” kümesi, yakın zamanda alışveriş yapan müşterileri içermektedir. Bu kümedeki müşterilerilere özel teklifler sunulması sık sık ve yüksek tutarda alışveriş yapmaları sağlanabilir.

“About to Sleep” kümesi, uzun süredir alışveriş yapmayan müşterileri bulundurmaktadır. Bu kümede yüksek tutarda alışveriş yapan müşterilere özellikle dikkat etmek gerekir. Bu müşteri kümesine özel indirim teklifleri sunulup ürün önerilerinde bulunulabilir.

İkinci aşamada ise ürünler arasındaki satış ilişkilerinin belirlenmesi ile birlikte firma tarafından depolanan alışveriş kayıtları ışığında anlamlı bilgiler elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla müşterilerin alışveriş kayıtları veri madenciliği yöntemlerinden biri olan birliktelik kurallarından apriori algoritması ile incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, şirketin kar marjının yükseltilmesi için birbiriyle güçlü satış ilişkisi bulunan ürünler üzerinden reklam stratejileri geliştirilebilir veya çeşitli promosyonlar hazırlanabilir.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## **KAYNAKÇA**

Agrawal, R., Imieliński, T. & Swami, A. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. *SIGMOD Rec.*, 22(2), 207–216. <https://doi.org/10.1145/170036.170072>.

- Agrawal, R. & Srikant, R. (1994, 12-15 Eylül). *Fast algorithms for mining association rules in large databases*. Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, Santiago de Chile.
- Akpınar, H. (2000). Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 29(1), 1-22.
- Aktepe, C., Baş M. & Tolon M. (2018). Müşteri ilişkileri yönetimi. *Detay Yayıncılık*, Ankara.
- Alan, M. A., (2012). Veri madenciliği ve lisansüstü öğrenci verileri üzerine bir uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33, 165-174.
- Ateş, Y. & Karabatak, M. (2017). Nicel birliktelik kuralları için çoklu minimum destek değeri. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(2), 57-65.
- Ayberkin, D. & Özen, Ü. (2021). Blokzincir teknolojisinin dijital reklam ve pazarlama sektöründe kullanımı: Modelleme çalışması ve kavramsal bir çerçeve. *Journal of Business in The Digital Age*, 4(2), 165-171. DOI: 10.46238/jobda.1021911.
- Berger, D.P. & Nasr, N.I. (1998). Customer lifetime value: Marketing models and applications, *Journal of Interactive Marketing*, 17-30.
- Blattbergs, R. C. & Malthouse, E.C. (2009). Customer lifetime value: Empirical generalizations and some conceptual questions. *Journal of Interactive Marketing*, 23, 157-168.
- Bult, J. R. & Wansbeek, T. (1995). Optimal Selection for Direct Mail. *Marketing Science*, 14(4), 378-394.
- Das, A., Ng, W.K. & Woon, Y.K. (2001, 5-10 Kasım). *Rapid association rule mining*. Proceedings of the 2001 ACM CIKM International Conference on Information and Knowledge Management, Atlanta, Georgia, USA.
- Chang, H.H. & Lai, T.Y. (2009). The Taipei Mrt (mass rapid transit) tourism attraction analysis from the inbound tourists' perspectives. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 26(5-6), 445-461.
- Emel, G.G., Taşkın, Ç. & Tok, A. (2005). Pazarlama Stratejilerinin Oluşturulmasında Bir Karar Destek Aracı: Birliktelik Kuralı Madenciliği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 30-59.
- Erdoğan, N.K., Gülcan, B. & Karamaşa, Ç. (2015, 31 Ekim). *Birliktelik kuralları ve uygulamaları: Literatür taraması (2000-2014)*. 13.Uluslararası Türk Dünyası Sosyal Bilimler Kongresi, Bakü, Azerbaycan.
- Erpolat, S. (2012). Otomobil yetkili servislerinde birliktelik kurallarının belirlenmesinde Apriori ve FP-Growth Algoritmalarının karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(2), 137-146.
- Erpolat Taşabat, S. & Akca, E. (2020). Recycling project With RFM analysis in industrial material sector. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences*, 38(4), 1681-1692.

- Gao, W. (2004). *A hierarchical document clustering algorithm* [MSc Thesis]. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Han, J. & Kamber, M. (2006). *Data mining: Concepts and techniques*, 2nd. *University of Illinois at Urbana Champaign: Morgan Kaufmann*.
- Hand, D.J. (1998). Data mining: Statistics and more? *The American Statistician*, 52(2), 112-118.
- Jabbour, S., El Mazouri, F.E. & Sais, L. (2018). Mining negatives association rules using constraints. *Procedia Computer Science*, 127, 481-488.
- Kabasakal, İ. (2020). Customer segmentation based on recency frequency monetary model: A case study in E-retailing. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(1), 47-56.
- Kumar, V. & Reinartz, W. (2012). *Customer relationship management: Concept, strategy and tools*. *Springer Science & Business Media*.
- Lai, C., Lu & Jin. (2018). Evaluating the efficiency of currency portfolios constructed by the mining association rules. *Asia Pacific Management Review*, 23(3), 161-234.
- Orbak, İ. (2022). Perakende sektöründe kullanılan teknolojik ürünlerin müşteri ilişkileri üzerindeki rolünün incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(2), 663-680. DOI:10.17482/uumfd.1092745.
- Özçakır, F. C. & Çamurcu, A.Y. (2007). Birliktelik kuralı yöntemi için bir veri madenciliği yazılımı tasarımı ve uygulaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(12), 21-37.
- Rençber, S. Ö. & Özdemir, A. (2019). Almanya ve Türkiye'deki büyük veri uzmanlarının eğitim ve yeteneklerinin karşılaştırılması: Linked-in veri madenciliği uygulaması. *Veri Bilimi*, 2(1), 35-43.
- Sadiqmal, F. (2015). *Implementation of some medical data using Apriori algorithm* [Master Thesis]. Sakarya University, Institute of Science and Technology, Sakarya.
- Salvatore, O., Perego, R. & Silvestri, C. (2004). A new algorithm for gap constrained sequence mining. *SAC '04 Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing*, 540-547.
- Sözen, E., Bardak, T., Peker, H. & Bardak, S. (2017). Apriori algoritması kullanılarak mobilya seçiminde etkili olan faktörlerin analizi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 679-684.
- Timor, M., Ezerçe, A. & Gürsoy, U. (2011). Müşteri profili ve alışveriş davranışlarını belirlemede kümeleme ve birliktelik kuralları analizi: Perakende sektöründe bir uygulama. *Yönetim Dergisi: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü*, 22(68), 128-147.
- Tsao, YC, Raj, PVRP. & Yu, V. (2019). Müşteri segmentasyonu ve panik satın alma davranışı dikkate alınarak farklı gramaj ve markalarda ürün değişimi. *Endüstriyel Pazarlama Yönetimi*, 77, 209-220.
- Webb, G.I. (2003). Association rules. In Nong Ye (Edt.), *The handbook of data mining*. *Lawrence Erlbaum Associates, Inc.* New Jersey.

- Wu, W. T., Li, Y. J., Feng, A. Z., Li, L., Huang, T., Xu, A. D. & Lyu, J. (2021). Data mining in clinical big data: the frequently used databases, steps, and methodological models. *Military Medical Research*, 8(1), 1-12.
- Yıldırım, B. (2019). *Modern perakendecilik sektöründe veri madenciliği tekniklerinin uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Yüksel, T. & Zontul, M. (2019). Dağıtık sistemlerde birliktelik kuralları ile sepet analizi. *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture*, 3 (1), 65-77.
- Zabkowski, T.S. (2016). RFM approach for telecom insolvency modeling. *Kybernetes*, 45(5), 815-827. <https://doi.org/10.1108/K-04-2015-0113>
- Zaki, M. & Hsiao, C.J. (2002, 11-13 Nisan). *CHARM: An efficient algorithm for closed itemset mining*. Proceedings of the Second SIAM International Conference on Data Mining, Arlington, VA, USA.



Research Article / Araştırma Makalesi

## ASSESSING PORT SERVICE QUALITY DIMENSIONS WITH FERMATEAN FUZZY AHP METHOD

LİMAN HİZMET KALİTESİ BOYUTLARININ FERMATEAN BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Veysel TATAR<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1375982>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar  
vtatar@artvin.edu.tr

Received / Geliş Tarihi  
14.10.2023

Accepted / Kabul Tarihi  
27.10.2023

### Abstract

Assessing the quality of businesses and improving them accordingly is critical for sustainable competitive advantage. This study focuses on evaluating the dimensions affecting the service quality of sea ports, which contribute significantly to the development of global trade. Therefore, this paper aims to determine the importance weights of the dimensions of the ROPMIS model presented by Thai (2008). In today's world, Fermatean fuzzy sets (FFSs) are a useful tool in many decision-making problems due to the possibility of better capturing human uncertainty and subjectivity. The weights of dimensions of the ROPMIS model are determined with AHP method under the Fermatean fuzzy environment. The suggested approach is an effective means of managing the ambiguities and errors in the data pertaining to the dimensions' weights. In order to provide a tool for assessing and ranking port global quality dimensions that may have an impact on sustainable port service quality, this study serves as a benchmark for subsequent research.

**Keywords:** Analytical hierarchy process, fermatean fuzzy set, multi-criteria decision, port service quality, sustainability.

### Öz

İşletmelerin kalitesinin değerlendirilmesi ve buna bağlı olarak geliştirilmesi sürdürülebilir rekabet avantajı açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, küresel ticaretin gelişmesine önemli katkı sağlayan deniz limanlarının hizmet kalitesine etki eden boyutların değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu nedenle bu makale Thai (2008) tarafından sunulan ROPMIS modelinin boyutlarının önem ağırlıklarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Günümüz dünyasında Fermatean bulanık kümeler (FFSs), insan belirsizliğini ve öznelliğini daha iyi yakalama olasılığı nedeniyle birçok karar verme probleminde yararlı bir araçtır. ROPMIS modelinin boyutlarının ağırlıkları Fermatean bulanık ortamında AHP yöntemiyle belirlenir. Önerilen yaklaşım, boyutların ağırlıklarına ilişkin verilerdeki belirsizliklerin ve hataların yönetilmesinde etkili bir yöntemdir. Sürdürülebilir liman hizmet kalitesi üzerinde etkisi olabilecek küresel liman kalite boyutlarını değerlendirmek ve sıralamak için bir araç sağlamak amacıyla bu çalışma, daha sonraki araştırmalar için bir referans noktası görevi görmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Analitik hiyerarşi süreci, fermatean bulanık küme, çok kriterli karar verme, liman hizmet kalitesi, sürdürülebilirlik.

<sup>1</sup>Artvin Çoruh University, Maritime and Port Management Program, Artvin, Türkiye.  
vtatar@artvin.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-4285-6854.

## 1. INTRODUCTION

Because customers perception of the services they receive—that is, service quality—affects important outcomes including customer loyalty, word-of-mouth, firm revenue, and long-term sustainability, businesses need to continuously monitor customer perception of their services. (Ladhari, 2009; Guo et al., 2023). Both a company's operations and the country's economy strategically depend on the quality of products and services. Service Quality is the examination of how well a service is delivered to customer expectations. Ports play the role of nodes apart from their traditional roles in logistics processes, that in international supply chains and also make significant contributions to national economies. Any failure or unreliability of port services can greatly influence the smooth movement of these flows in the next stage of the supply chain and make port customers – shipping lines and cargo owners – unhappy (Thai, 2016). Parasuraman et al. (1985) state service quality factors affect customer satisfaction. It is important for ports to improve customer satisfaction in order to obtain sustainable competitive advantage. A port's competitive standing is mostly determined by the quality of its services, not by more conventional considerations like price and amenities (Cho et al., 2010). In times of intense competition and uncertainty, it is crucial that port operators and relevant government agencies identify key success factors that will enable them to improve the quality and competitiveness of port services (Hsu et al., 2023). The demand for port service is a derived demand and ports must follow service quality trends otherwise they will be left behind (Ugboma et al., 2007). There are several providers that offer port services (Talley et al., 2014, Talley, 2019): (1) the port operator; (2) shipper agent; (3) shipping line agents; (4) harbor pilots; (5) tugboat operator; and (6) government customs. The higher the value of the quality of service offered to port users, the higher the competitiveness of the port (Song & Yeo, 2004).

Evaluation of service quality criteria is a type of MCDM problem and requires MCDM approaches to strengthen the decision making process. Evaluation of service quality criteria often involves imprecise and uncertain judgment. The Fuzzy set concept, introduced by Zadeh (1965), is an important tool to evaluate the uncertainty of subjective decision of experts in decision-making problems. Fuzzy set theory has difficulty dealing with the complex uncertainty problems inherent in realistic problems. Later, as an extension of fuzzy sets, which relate each element to both membership and non-membership degrees, Atanassov (1986) developed intuitionistic fuzzy sets (IFS). IFS the condition  $0 \leq \mu(x) + \nu(x) \leq 1$  where  $\mu(x)$  and  $\nu(x)$  denote the membership degree and non-membership degree of the object  $x$ , respectively. Smarandache (1998) was introduced the concept of neutrosophic information by introducing neutrosophic sets (NSs), in which, along with the truth and falsity values, the factor of indeterminacy. In 2010, hesitant fuzzy sets (HFSs) were introduced by Torra (2010). The conception of Pythagorean fuzzy set (PFS) was pioneered via Yager (2013). PFSs satisfy the condition  $\mu(x)^2 + \nu(x)^2 \leq 1$ . Spherical fuzzy set (SFS) introduced by Kutlu Gündoğdu ve Kahraman, (2019), modeled the vagueness of the problem is in a three-dimensional spherical geometry (Menekşe and Akdağ, 2023). Fermatean fuzzy set (FFS) (Senapati and Yager, 2020) is one of the effective generalizations of the Fuzzy set theory (Zadeh, 1965), which is formulated  $0 \leq \mu(x)^3 + \nu(x)^3 \leq 1$ . Because they are all confined within the space of FFSs, FFSs are more powerful than FSs, IFSs, and PFSs (Mishra et al., 2023). Figure 1 presents some extensions of ordinary fuzzy sets that have been defined differently in the literature in order to define membership functions.

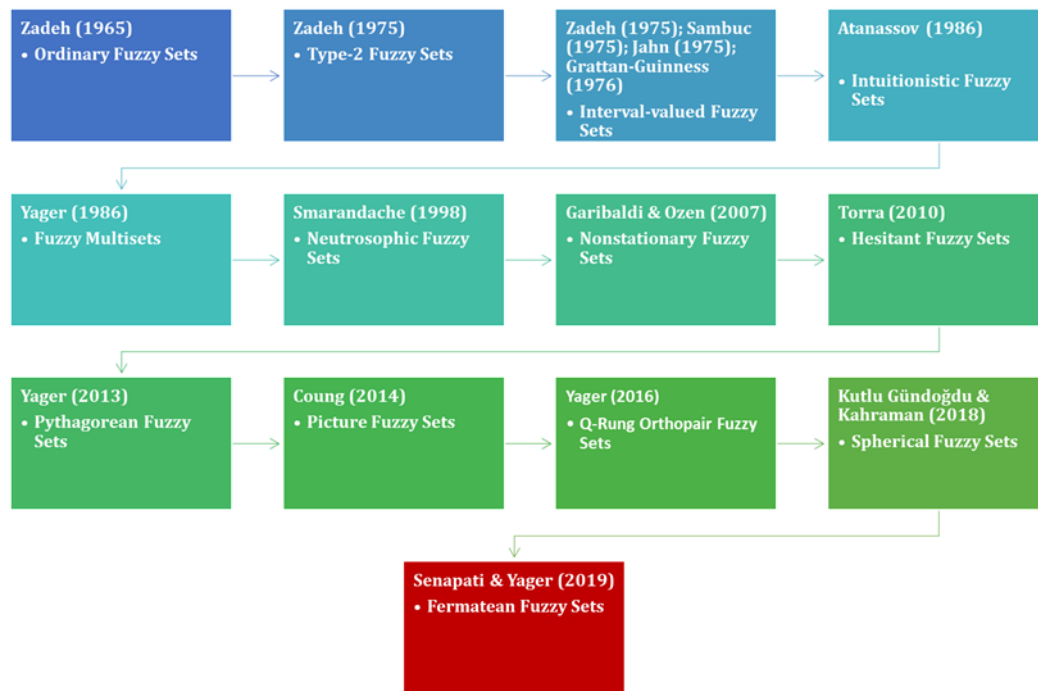


Figure 1. Extension of Fuzzy Sets (Alkan & Kahraman, 2023)

Thomas L. Saaty developed AHP (Analytic Hierarchy Process) multi-criteria evaluation approach to represent multi-criteria decisions in the year 1970s (Saaty, 1977). AHP is an MCDM method that measures the consistency of the decisions taken and reduces the bias prejudice the decision by structuring the problem (Kumar and Pant, 2023). AHP is based on pairwise comparison based on expert judgments that contain uncertainties. To mitigate the uncertainties in the traditional AHP, fuzzy versions have been developed. Different fuzzy set extension AHP applications have been used in MCDM problems. Fuzzy AHP Abdullah et al., (2023); Interval type-2 fuzzy AHP Celik and Akyuz (2018); Intuitionistic fuzzy AHP Sun et al., (2023); Neutrosophic AHP Karasan et al., (2022); Pythagorean fuzzy AHP Ilbahar et al., (2018); Picture fuzzy AHP Kutlu Gündoğdu et al., (2021); Spherical fuzzy AHP Liu et al., (2023); Fermatean Fuzzy AHP Alkan and Kahraman (2023).

In this paper adopts Fermatean fuzzy AHP to identify the importance of factors which may influence port service quality. The purpose of this paper is to evaluate the port service quality factors including uncertainty and ambiguity for sustainable port development by using the advantages of the Fermatean fuzzy sets. As a result, it will direct the stakeholders involved in the port sector regarding the significance of the elements affecting service quality and customer satisfaction.

## 2. LITERATURE REVIEW

### 2.1. Maritime Transportation

The maritime industry is vital to the international economy and social well-being (Narasimha et al., 2021). The United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) reported that total seaborne trade to grow by 2.4 per cent in 2023 (UNCTAD, 2023). The maritime transport system has a major role in linking the global supply chain and contributing to the development of the world's economy (Hu & Zhu, 2009; Liu et al., 2024). Maritime transportation is the guiding transportation model in overseas trade, as it efficiently transports approximately 80% of large

volumes of commodities in global trade (Li et al., 2023). Sea ports and waterways are nodes and links that enable the transportation of cargo in maritime transportation, respectively (Talley, 2013). The maritime logistics industry has an important role in the global transportation system. Sea ports are also an important part of maritime logistics (Zhou et al., 2021).

Maritime ports contribute to economic development as a gateways for export trade (Jiang et al., 2023). Ports are a sub-system of the total transportation network and the intersection point of other transportation modes. In this context, it is an economic infrastructure that serves the handling of domestic and international cargoes (Park & De, 2004). Ports provide services rather than producing physical products (Talley & Ng, 2016).

Ports provide two different services: to cargo and to vessel. The basic function of ports is to provide shelter to ships in different sizes, allowing the transfer of cargo to different transportation modes (Roa et al., 2013). There are two different operations in ports: maritime operations and terminal operations. Maritime operations correspond to the processes that begin with the docking of a vessel, and end with the cargo transfer. Terminal operations correspond to the processes from the end of a vessel's cargo transfer to the storage of the cargo at the shipyard (Agüero-Tobar et al., 2023).

## 2.2. Service Quality (SQ)

SQ is considered a major factor for the success of an organization, especially in the service-based industry, as it is strongly associated with customer satisfaction (Ding et al., 2020). The service is complex in nature and must have functional quality (Grönroos, 1982). Parasuraman et al. (1985, 1988) proposed the SERVQUAL model, which consists of the dimensions "tangibles", "reliability", "responsiveness", "assurance" and "empathy" to evaluate service quality. Cronin and Taylor (1992, 1994) suggested the SERVPERF model, which includes the relationships between service quality, customer satisfaction and purchasing intentions. The Gaps Model of SQ, which evaluates quality by considering the factors that contribute to determining the quality between the quality expected by the customers and the quality offered by the companies was proposed by Parasuraman et al. (1985, 1988) and Zeithaml et al. (1993). The ROPMIS model, which consists of resources, outcomes, processes, management, image and social responsibility dimensions, was introduced by Tai (2008) to measure service quality in maritime transportation.

Bhattacharya et al. (2023) applied the AHP-SERVQUAL approach for perception-satisfaction-based quality assessment of tourism and accommodation services in the Himalayan region. Tumsekcali et al. (2023) adapted the SERVQUAL model for public transportation services and provided a fuzzy MCDM technique using IVIF-AHP integrated IVIF-WASPAS. In order to assess service quality across employment-related government agencies, Ocampo et al. (2019) developed an integrated SERVQUAL model and AHP&TOPSIS. A balanced scorecard-based SERVQUAL was presented by Dinçer et al. (2019) to rank rivals in the banking industry with hesitant fuzzy information. Liu et al. (2015) used the modified fuzzy SERVQUAL method to evaluate service quality in the certification and inspection industry. Awasthi et al. (2011) suggested an integrated model based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS to evaluate the service quality of urban transportation systems. Shu et al. (2023) used the SERVPERF scale, AHP, and the 2-tuple linguistic model to evaluate the overall customer satisfaction of hotels. Lupo (2015) applied the fuzzy ServPerf model combined with ELECTRE III to assess service quality at airports.



### 2.3. Service Quality in Maritime Industry

Thai (2008) introduced the ROPMIS model to evaluate service quality in maritime transportation. The relationship between service quality and customer satisfaction at the Port of Singapore examined by Thai (2016) using the ROPMIS model. Yeo et al. (2015) investigated port service quality (PSQ) concept and its impact on customer satisfaction at Korean container ports. Hemalatha et al. (2018) applied TOPSIS and GRP methods to evaluate the service quality of twelve container terminal operators in India. Ugboma et al. (2007) determined the service quality offered by two ports in Nigeria using the SERVQUAL model. Miremadi et al. (2011) used the SERVQUAL model at Shahid Rajaie Port (SRP) in Bandar Abbas to determine service quality in the port industry. Viet (2015) analyzed the relationship between service quality factors and customer satisfaction level in six ports belonging to a company. Chen et al. (2009) tested the service quality gap between the service provider and the customer using the SERVQUAL model in the shipping industry. Ha (2003) identified seven factors that can have a direct or indirect impact on port service quality: Ready information availability of port-related activities, port location, port turnaround time, facilities available, port management, port costs and customer convenience. Cho et al. (2010) proposed three dimensions for the relationship between port service quality and customer satisfaction, namely endogenous quality, exogenous quality and relational quality. Phan et al. (2021) aimed to investigate the impact of the concept of port service quality (PSQ) on customer satisfaction in the container port industry in Vietnam.

## 3. METHODOLOGY

### 3.1. Fermatean Fuzzy Sets (FFSs)

This section provides some basic concepts and the mathematical operations based on Fermatean fuzzy sets (FFSs). Senapati and Yager (2019) introduced FFSs, which have more flexible processing capabilities in multi-attribute decision-making problems and are a novel extension of intuitionistic fuzzy sets (IFSs) and Pythagorean fuzzy sets (PFSs). which requires that the cubic sum of membership and non-membership should not exceed one. Compared to IFS and PFS, FFS can accommodate a wider range of evaluation information and provides greater ability to identify uncertain information. Fig. 2 shows the difference between IFS, PFS and FFS in graphical representation.

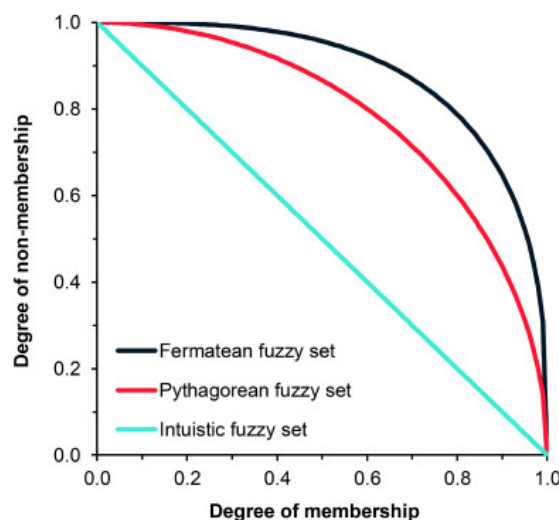


Figure 2. The Differences Between IFS, PFS and FFS (Simić et al., 2022)

**Definition 1.** Assume that  $P = (\mu_P, v_P)$ ,  $P_1 = (\mu_{P_1}, v_{P_1})$  and  $P_2 = (\mu_{P_2}, v_{P_2})$  are three FFSs and  $\omega > 0$ , then some FFSs operators are presented as follows (Senapati & Yager, 2019; 2020):

$$P_1 \cap P_2 = (\min\{\mu_{P_1}, \mu_{P_2}\}, \max\{v_{P_1}, v_{P_2}\}) \tag{1}$$

$$P_1 \cup P_2 = (\max\{\mu_{P_1}, \mu_{P_2}\}, \min\{v_{P_1}, v_{P_2}\}) \tag{2}$$

$$P^c = (v_P, \mu_P) \tag{3}$$

$$P_1 \oplus P_2 = \left( \sqrt[3]{\mu_{P_1}^3 + \mu_{P_2}^3 - \mu_{P_1}^3 \mu_{P_2}^3}, v_{P_1} v_{P_2} \right) \tag{4}$$

$$P_1 \otimes P_2 = \left( \mu_{P_1} \mu_{P_2}, \sqrt[3]{v_{P_1}^3 + v_{P_2}^3 - v_{P_1}^3 v_{P_2}^3} \right) \tag{5}$$

$$\omega P = \left( \sqrt[3]{1 - (1 - \mu_P^3)^\omega}, v_P^\omega \right) \tag{6}$$

$$P^\omega = \left( \mu_P^\omega, \sqrt[3]{1 - (1 - v_P^3)^\omega} \right) \tag{7}$$

**Definition 2.** The score function SF and the accuracy function AF are defined as follows (Keshavarz-Ghorabae et al., 2020):

$$SF = \mu_P^3 - v_P^3 \tag{8}$$

$$AF = \mu_P^3 + v_P^3 \tag{9}$$

Let  $P_1 = (\mu_{P_1}, v_{P_1})$  and  $P_2 = (\mu_{P_2}, v_{P_2})$  be two FFSs. To compare two FFS, the score and accuracy functions are deployed as below (Senapati & Yager 2019):

If  $SF_1 < SF_2$ , then  $F_1 < F_2$

If  $SF_1 > SF_2$ , then  $F_1 > F_2$

If  $SF_1 = SF_2$ , then

If  $AF_1 < AF_2$ , then  $F_1 < F_2$

If  $AF_1 > AF_2$ , then  $F_1 > F_2$

If  $AF_1 = AF_2$ , then  $F_1 = F_2$

**Definition 3.** Assume that  $P_i = (\mu_{P_i}, v_{P_i})$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) is a number of Fermatean fuzzy numbers (FFNs) and  $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^P$  is weight vector of  $P_i$ . ( $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ) (Senapati & Yager, 2019; Biswas et al., 2021):

Fermatean fuzzy weighted average (FFWA) operator is:

$$FFWA(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) = \left( \sum_{i=1}^n w_i \mu_{P_i}, \sum_{i=1}^n w_i v_{P_i} \right) \tag{10}$$

Fermatean fuzzy weighted geometric (FFWG) operator is:

$$FFWG(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) = \left( \prod_{i=1}^n \mu_{P_i}^{w_i}, \prod_{i=1}^n \nu_{P_i}^{w_i} \right) \tag{11}$$

The Fermatean fuzzy weighted power average (FFWPA) operator is:

$$FFWPA(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) = \left( \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i \mu_{P_i}^3}, \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i \nu_{P_i}^3} \right) \tag{12}$$

The Fermatean fuzzy weighted power geometric (FFWPG) operator is:

$$FFWPG(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n) = \left( \sqrt[3]{1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{P_i}^3)^{w_i}}, \sqrt[3]{1 - \prod_{i=1}^n (1 - \nu_{P_i}^3)^{w_i}} \right). \tag{13}$$

### 3.2. Fermatean Fuzzy Analytic Hierarchy Process Method (FF-AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) is a multi-criteria decision making (MCDM) method that is widely used to prioritize criteria by pairwise comparison and determining the importance weights of the criteria with simple operations. (Saaty, 1980). Despite the easy calculation steps of classical AHP, it is not sufficient to express the judgments of decision makers under uncertainty. Therefore, in the studies applied in the literature, AHP is applied to solve MCDM problems with different fuzzy set extensions to overcome the uncertainties in pairwise comparisons. Recently, in many studies, AHP has been extended and applied in the Fermatean fuzzy sets environment such as supplier selection problem (Camci et al., 2022), and prioritizing digital supply chain transformation strategies (Alkan & Kahraman, 2023). The fermatean fuzzy AHP (FF-AHP) method’s steps are given as follows (Camci et al., 2022; Alkan & Kahraman, 2023):

**Step 1:** Construct the hierarchical structure

Identify the problem which consists of criteria and sub-criteria, and alternatives.

**Step 2:** Construct the pairwise comparison matrix

The pairwise comparison matrices can be constructed using fermatean fuzzy linguistic terms as shown in for every expert.

$$Q = [Q_{ij}]_{m \times m} = \begin{bmatrix} 1 & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & 1 & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Where  $i, j=1,2,\dots,m$ .

Table 1. Linguistic Term for Pairwise Comparisons

SI	Meaning	FFN	SI	FFN
9	Absolutely more importance (AMI)	(0,970, 0,233)	8	(0,929, 0,121)
7	Very high importance (VHI)	(0,900, 0,307)	6	(0,844, 0,107)
5	High importance (HI)	(0,794, 0,083)	4	(0,737, 0,068)
3	Slightly high importance (SHI)	(0,670, 0,091)	2	(0,585, 0,059)
1	Equal importance (EI)	(0,465, 0,082)	1/2	(0,369, 0,062)
1/3	Slightly low importance (SLI)	(0,322, 0,038)	1/4	(0,293, 0,054)
1/5	Low importance (LI)	(0,272, 0,050)	1/6	(0,256, 0,048)
1/7	Very low importance (VLI)	(0,243, 0,040)	1/8	(0,233, 0,053)
1/9	Absolutely low importance (ALI)	(0,224, 0,050)		

**Step 3:** Measure the consistency of pairwise comparison matrices

To calculate the consistency, Saaty's classical consistency steps is applied.

**Step 4:** Computing aggregated pairwise comparison matrix

Pairwise comparison matrices established by each expert are aggregated by using Fermatean fuzzy weighted geometric mean (FFWG) operator, and in a single matrix.

**Step 5:** Evaluate the criteria FFN weights

The local weights ( $w$ ) of each criterion are calculated by using FFWG operator (Eq.11).

$W = (w_1, \dots, w_n)$ ,  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ , where  $W$  is the weight of the criteria.

**3.3. ROPMIS Model**

ROPMIS is a conceptual model introduced and tested by Thai (2008) to measure port service quality. This model consists of 6 dimensions (resources, outcomes, process, management, images and social responsibility) and sub-criteria related to these dimensions. This model investigates the impact of service quality on customer satisfaction in the port industry.

Yeo et al. (2015) revised the ROPMIS model developed by Thai (2008). Since there is a relationship between the social responsibility profile of businesses and their perceived image, the image and social responsibility dimensions are combined in the revised model, as shown in Figure 3.

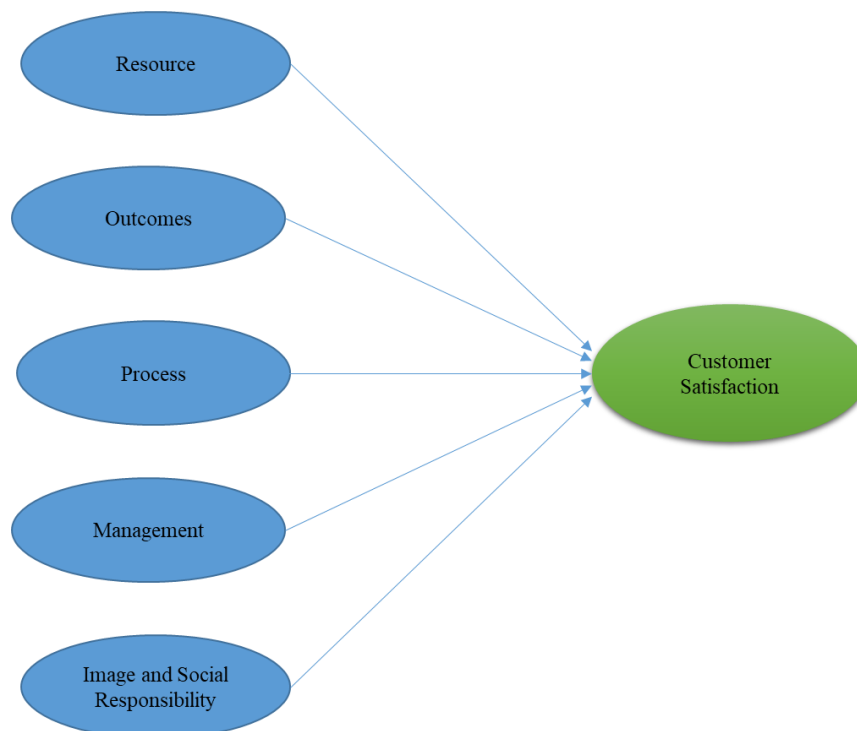


Figure 3. Conceptual Framework of ROPMIS Model (Yeo et al., 2015)

**3.4. The Proposed Methodology**

This study employs a hybrid technique that based on the ROPMIS model and combining Fermatean fuzzy AHP to prioritize criteria affecting the level of service provided by the port sector. As a result of a detailed literature survey and experts' opinions, the dimensions and evaluation

criteria of the model are determined. A criteria hierarchy is constructed based on the ROPMIS model in order to evaluate customer satisfaction. AHP is applied to obtain the weights of the PSQ dimensions under the fermatean fuzzy environment. The inner levels of the suggested combined methodology are shown in Figure 4.

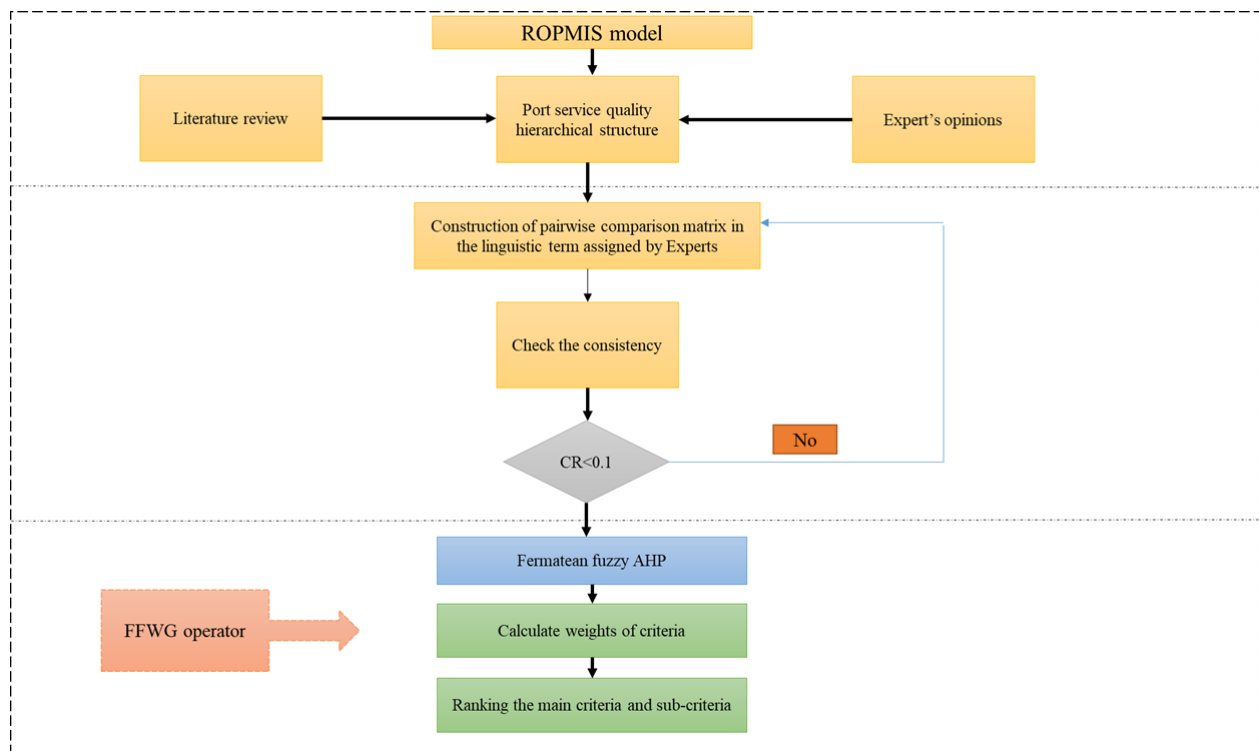


Figure 4. The Proposed Methodology

#### 4. APPLICATION

Considering the increasing competition in global trade, the quality of services offered by port operators is an important criterion for port users to choose the port (Ha, 2003). In order to regularly assessment of service quality in the port sector, effective criteria must be determined and their importance weight must be calculated well. In this section, the service quality dimensions of the ROPMIS model, presented by Thai (2008) to evaluate customer satisfaction in port operations, are prioritized using FF-AHP. To evaluate the criteria, a decision-making team consisting of three experienced experts who work in the sector or related field, follow current developments and can evaluate port operations is formed. Experts are abbreviated as E1, E2 and E3. As a result of expert opinions and evaluation of studies in the literature, five main criteria and twenty sub-criteria have been determined within the scope of port service quality affecting customer satisfaction, based on the ROPMIS model. The hierarchical structure shown in Fig. 5. The consistency ratios (CR) for the first level and second level criteria given in Table 2 are calculated according to the scale presented in Table 1. According to Saaty (2008), If  $CR \leq 0.1$ , consistency is acceptable in pairwise comparisons else return to construction of pairwise comparison matrix. The local weights are calculated using Eq.11. This process is performed for each comparison matrix.. Sub-criteria are ranked locally according to the obtained score function values.. The global weights and rankings of the sub-criteria are calculated after the normalization process. FF-AHP results are presented in Table 5.

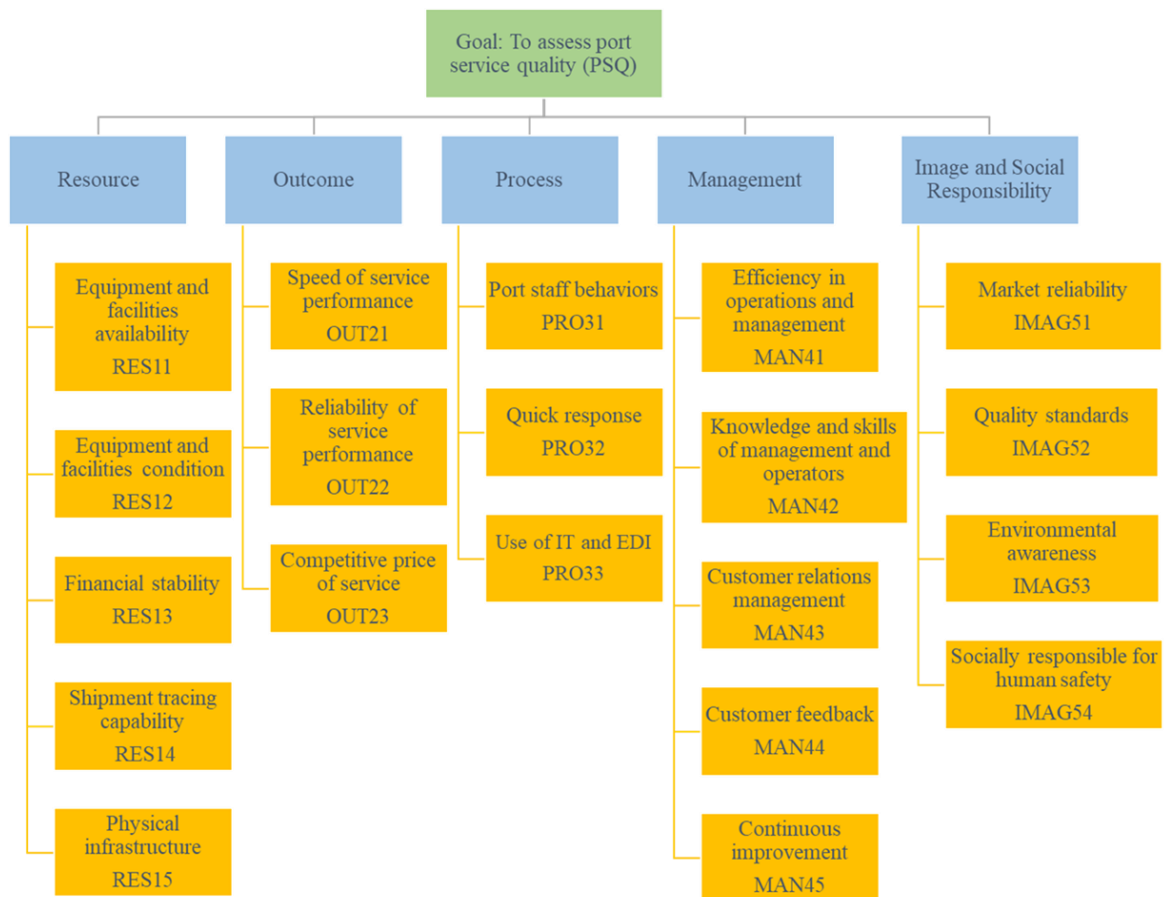


Figure 5. Hierarchical Structure of PSQ Criteria

Table 2. Descriptions of The Criteria for PSQ

Main Criteria (Dimensions)	Sub-Criteria	Code	References
Resource (RES)	Technical equipment and facilities of the port used	RES11	Adapted from Thai (2008) and Yeo et al. (2015)
	Proper functioning functionality of port equipment and facilities	RES12	
	Financially strong and stable position of the port	RES13	
	The port's shipment tracking and trace capacity	RES14	
	Physical infrastructure of the port (berths, yards, warehouses, and logistics connection)	RES15	
Outcome (OUT)	Performance speed of port services	OUT21	Adapted from Thai (2008) and Yeo et al. (2015)
	The port provides reliable and damage-free service	OUT22	
	The port offers competitive service prices compared to other companies	OUT23	
Process (PRO)	Port staff attitudes and behaviors	PRO31	Adapted from Thai (2008) and Yeo et al. (2015)
	The ability of port staff to quickly respond and resolve customer requirements	PRO32	
	The port's use of ICT applications (IT and EDI) in customer services	PRO33	
Management (MAN)	Effective use of ICT applications by the port administration	MAN41	Adapted from Thai (2008) and
	Port management's ability and knowledge to manage operations	MAN42	

	Port management's ability to understand customer needs and requirements well	MAN43	Yeo et al. (2015)
	Collecting feedback about customer services and producing solutions	MAN44	
	Efforts to continuously improve the port's customer-centered operation and processes of management	MAN45	
Image and Social Responsibility (IMAGE)	Market reliability of the port	IMAG51	Adapted from Thai (2008) and Yeo et al. (2015)
	Implementation of international quality standards in the port (ISO 14001, OHSAS 18001 etc.)	IMAG52	
	Environmental awareness in port operations (green port)	IMAG53	
	Corporate social responsibility behaviors about human safety	IMAG54	

Table 3. A Matrix of Pairwise Comparisons for The Main Criteria

	E1					E2					E3				
	RES	OUT	PRO	MAN	IMAGE	RES	OUT	PRO	MAN	IMAGE	RES	OUT	PRO	MAN	IMAGE
RES	EI	LI	VLI	ALI	SLI	EI	SLI	VLI	ALI	SLI	EI	SLI	LI	VLI	SLI
OUT	HI	EI	SLI	VLI	SHI	SHI	EI	SLI	VLI	SHI	SHI	EI	SLI	LI	SHI
PRO	VHI	SHI	EI	SLI	SHI	VHI	SHI	EI	SLI	SHI	HI	SHI	EI	SLI	SHI
MAN	AMI	VHI	SHI	EI	HI	AMI	VHI	SHI	EI	VHI	VHI	HI	SHI	EI	VHI
IMAGE	SHI	SLI	SLI	LI	EI	SHI	SLI	SLI	VLI	EI	SHI	SLI	SLI	VLI	EI
CR	0.071					CR 0.057					CR 0.061				

Table 4. Aggregated FFSs for Main Criteria

	RES		OUT		PRO		MAN		IMAGE	
RES	0,465	0,082	0,304	0,042	0,252	0,043	0,230	0,046	0,322	0,038
OUT	0,709	0,088	0,465	0,082	0,322	0,038	0,252	0,043	0,670	0,091
PRO	0,863	0,199	0,670	0,091	0,465	0,082	0,322	0,038	0,670	0,091
MAN	0,946	0,255	0,863	0,199	0,670	0,091	0,465	0,082	0,863	0,199
IMAGE	0,670	0,091	0,322	0,038	0,322	0,038	0,252	0,043	0,465	0,082

Table 5. FF Local and Global Weights of Criteria and SF Values

Main criteria (Dimensions)	Sub-criteria	Local weights		Global weights		SF	Local ranking	w	Global ranking
Resource		0,305	0,048						
	RES11	0,352	0,059	0,107	0,068	0,001	4	0,057	19
	RES12	0,556	0,089	0,170	0,093	0,004	2	0,224	14
	RES13	0,288	0,048	0,088	0,060	0,000	5	0,031	20
	RES14	0,540	0,091	0,165	0,095	0,004	3	0,205	16
	RES15	0,719	0,132	0,219	0,134	0,008	1	0,483	11
Outcome		0,448	0,064						
	OUT21	0,456	0,068	0,204	0,083	0,008	2	0,228	12
	OUT22	0,658	0,113	0,294	0,119	0,024	1	0,682	5
	OUT23	0,336	0,051	0,150	0,073	0,003	3	0,091	17
Process		0,566	0,087						
	PRO31	0,333	0,052	0,188	0,093	0,006	3	0,097	13
	PRO32	0,504	0,074	0,285	0,102	0,022	2	0,337	7
	PRO33	0,600	0,100	0,340	0,119	0,037	1	0,567	3
Management		0,738	0,150						
	MAN41	0,401	0,057	0,296	0,152	0,022	4	0,091	6
	MAN42	0,323	0,047	0,238	0,151	0,010	5	0,047	9

	MAN43	0,425	0,062	0,314	0,153	0,027	3	0,107	4
	MAN44	0,550	0,074	0,406	0,155	0,063	2	0,234	2
	MAN45	0,719	0,130	0,531	0,177	0,144	1	0,521	1
Image & Soc. Resp.		0,382	0,054						
	IMAGE51	0,686	0,113	0,262	0,117	0,016	1	0,550	8
	IMAGE52	0,418	0,060	0,160	0,072	0,004	3	0,125	15
	IMAGE53	0,548	0,097	0,209	0,102	0,008	2	0,280	10
	IMAGE54	0,298	0,050	0,114	0,066	0,001	4	0,045	18

## 5. DISCUSSION ON RESULTS

The aim of this paper is to identify and prioritize the main criteria and sub-criteria for port service quality in fuzzy environment. Based on the review of the research literature, the main criteria and sub-criteria of service quality have been identified based on the ROPMIS model and prioritized based on the Fermatean fuzzy AHP method. Although the criteria used in this study are all important, the results of the study show; Management (0,738, 0,150) is the most important main criteria, and respectively, Process (0,566, 0,087), Outcome (0,448, 0,064), Image and Social Responsibility (0,382, 0,054), and Resource (0,305, 0,048) are important. The finding that the management main criterion has the highest importance weight in terms of port service quality is compatible with the results of Thai (2008) and Yeo et al. (2015), who found that this factor is perceived as the most important factor in delivering service quality in maritime transportation.

Moreover, it is seen that the image and social responsibility (0,382, 0,054) has a significant weight, and indicating that it is an important service quality criterion in terms of corporate sustainability of ports. Emission values resulting from port activities affect air quality, and therefore may have negative consequences on the health of employees and human around the port (Prati et al., 2015; Botana et al., 2023). In terms of sustainability and social responsibility, ports implement their operations according to "green port" dimensions. The environmental activities of ports have consequences on the image and development of ports (Acciaro, 2015).

The findings suggest that port sector professionals and practitioners should apply the necessary tactical and strategic methods, according to the importance weights of the criteria, to implement sustainability considering port operations.

## 6. CONCLUSION

This study is presented as a guide for port sector managers and practitioners to contribute to customer satisfaction by investigating the importance of PSQ criteria. In this context, the importance weights and rankings of the defined dimensions of the ROPMIS model introduced by Thai (2008) are calculated. FF-AHP methodology is used to calculate the local and global weights of the dimensions.

According to Table 5, the final main dimensions ranking is MAN > PRO > OUT > IMAGE > RES. Considering all the main dimensions, management is determined to be the most important one. When it comes to the global ranking of each service quality criterion, MAN44 and MAN45 are ranked as the most important and second most important drivers of port service quality, respectively. The contribution of factors arising from management-based operations in ports to increasing customer satisfaction shows that the results of this study are compatible with existing studies (Yeo et al., 2015; Phan et al., 2021).

The study's findings have significant managerial implications for managers in the port industry. Through the current study of the validated port service quality model, port managers could first



comprehend the dimensions and issues of port service quality according to customers' requests and suggestions. Second, in order to improve the port's reputation and, consequently, the perceived level of service quality in the eyes of its clients, port management ought to focus more on corporate social responsibility initiatives in addition to standards like infrastructure, resources, and transportation links. Green port practices should be specifically encouraged in port operations and associated activities. These are necessary for sustainable maritime activities and reducing greenhouse gas emissions. In order to achieve sustainable success, ports need to develop operational processes as well as a strategic coordination center and benchmarking system. (Othman et al.,2023).

However, the study's conclusions have significant theoretical and managerial implications, its limitations should be taken into account since it generalizes port service quality dimensions. Therefore, these criteria could be developed for different port types for future research.

## REFERENCES

- Abdullah, A. G., Shafii, M. A., Pramuditya, S., Setiadipura, T. & Anzhar, K. (2023). Multi-criteria decision making for nuclear power plant selection using fuzzy AHP: Evidence from Indonesia. *Energy and AI*, 14, 100263.
- Acciaro, M. (2015). Corporate responsibility and value creation in the port sector. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(3), 291-311.
- Agüero-Tobar, M. A., González-Araya, M. C. & González-Ramírez, R. G. (2023). Assessment of maritime operations efficiency and its economic impact based on data envelopment analysis: A case study of Chilean ports. *Research in Transportation Business & Management*, 46, 100821.
- Alkan, N. & Kahraman, C. (2023). Prioritization of supply chain digital transformation strategies using multi-expert Fermatean fuzzy analytic hierarchy process. *Informatica*, 34(1), 1-33.
- Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., Omrani, H. & Panahi, A. (2011). A hybrid approach based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS for evaluating transportation service quality. *Computers & Industrial Engineering*, 61(3), 637-646.
- Bhattacharya, P., Mukhopadhyay, A., Saha, J., Samanta, B., Mondal, M., Bhattacharya, S. & Paul, S. (2023). Perception-satisfaction based quality assessment of tourism and hospitality services in the Himalayan region: An application of AHP-SERVQUAL approach on Sandakphu Trail, West Bengal, India. *International Journal of Geoh Heritage and Parks*, 11(2), 259-275.
- Biswas, S., Pamucar, D., Kar, S. & Sana, S. S. (2021). A new integrated FUCOM–CODAS framework with fermatean fuzzy information for multi-criteria group decision-making. *Symmetry*, 13(12), 2430.
- Botana, C., Fernández, E. & Feijoo, G. (2023). Towards a Green Port strategy: The decarbonisation of the Port of Vigo (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 856, 159198.

- Camci, A., Ertürk, M.E. & Gül, S. (2022). A novel Fermatean fuzzy analytic hierarchy process proposition and its usage for supplier selection problem in industry 4.0 transition. Garg, H. (eds) q-Rung Orthopair Fuzzy Sets. *Springer*, Singapore.
- Celik, E. & Akyuz, E. (2018). An interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS methods for decision-making problems in maritime transportation engineering: The case of ship loader. *Ocean Engineering*, 155, 371-381.
- Chen, K. K., Chang, C. T. & Lai, C.S. (2009). Service quality gaps of business customers in the shipping industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 222-237.
- Cho, C. H., Kim, B. I. & Hyun, J. H. (2010). A comparative analysis of the ports of Incheon and Shanghai: The cognitive service quality of ports, customer satisfaction, and post-behaviour. *Total Quality Management*, 21(9), 919-930.
- Cronin, J. J. & Taylor, S. A. (1994). SERVPERF versus SERVQUAL: reconciling performance-based and perceptions-minus-expectations measurement of service quality. *Journal of Marketing*, 58(1), 125-131.
- Cronin, J.J. & Taylor, S.A. (1992). Measuring service quality: A re-examination and extension. *Journal of Marketing*, 56(3), 55–68.
- Dinçer, H., Yüksel, S. & Martínez, L. (2019). Analysis of balanced scorecard-based SERVQUAL criteria based on hesitant decision-making approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 1-12.
- Ding, K., Choo, W.C., Ng, K.Y. & Ng, S.I. (2020). Employing structural topic modelling to explore perceived service quality attributes in Airbnb accommodation. *International Journal of Hospitality Management*, 91, 102676.
- Grönroos, C. (1982). An applied service marketing theory. *European journal of Marketing*, 16(7), 30-41.
- Guo, Y., Li, Y., Liu, D. & Xu, SX. (2023). Measuring service quality based on customer emotion: An explainable AI approach. *Decision Support Systems*, 114051, In Press.
- Ha, M.S. (2003). A comparison of service quality at major container ports: Implications for Korean ports. *Journal of Transport Geography*, 11(2), 131-137.
- Hemalatha, S., Dumpala, L. & Balakrishna, B. (2018). Service quality evaluation and ranking of container terminal operators through hybrid multi-criteria decision making methods. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34(2), 137-144.
- Hsu, C. T., Chou, M. T. & Ding, J. F. (2023). Key factors for the success of smart ports during the post-pandemic era. *Ocean & Coastal Management*, 233, 106455.
- Hu, Y. & Zhu, D. (2009). Empirical analysis of the worldwide maritime transportation network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(10), 2061-2071.

- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S. & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136.
- Jiang, M., Zhao, S. & Jia, P. (2023). The spatial spillover effect of seaport capacity on export trade: Evidence from China pilot free trade zones. *Ocean & Coastal Management*, 245, 106879.
- Karasan, A., Ilbahar, E., Cebi, S. & Kahraman, C. (2022). Customer-oriented product design using an integrated neutrosophic AHP & DEMATEL & QFD methodology. *Applied Soft Computing*, 118, 108445.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Zavadskas, E. K. & Kaklauskas, A. (2020). A new decision-making approach based on Fermatean fuzzy sets and WASPAS for green construction supplier evaluation. *Mathematics*, 8(12), 2202.
- Kumar, A. & Pant, S. (2023). Analytical hierarchy process for sustainable agriculture: An overview. *MethodsX*, 10, 101954.
- Kutlu Gündoğdu, F. & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(1), 337-352.
- Kutlu Gündoğdu, F., Duleba, S., Moslem, S., & Aydın, S. (2021). Evaluating public transport service quality using picture fuzzy analytic hierarchy process and linear assignment model. *Applied Soft Computing*, 100, 106920.
- Ladhari, R. (2009). A review of twenty years of SERVQUAL research. *International Journal Of Quality and Service Sciences*, 1(2), 172-198.
- Li, D., Jiao, J., Wang, S. & Zhou, G. (2023). Supply Chain Resilience from the Maritime Transportation Perspective: A bibliometric analysis and research directions. *Fundamental Research*.
- Liu, Y., Ma, X., Qiao, W., Ma, L. & Han, B. (2024). A novel methodology to model disruption propagation for resilient maritime transportation systems—a case study of the Arctic maritime transportation system. *Reliability Engineering & System Safety*, 241, 109620.
- Liu, Q., Chen, J., Yang, K., Liu, D., He, L., Qin, Q. & Wang, Y. (2023). An integrating spherical fuzzy AHP and axiomatic design approach and its application in human-machine interface design evaluation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 125, 106746.
- Liu, R., Cui, L., Zeng, G., Wu, H., Wang, C., Yan, S. & Yan, B. (2015). Applying the fuzzy SERVQUAL method to measure the service quality in certification & inspection industry. *Applied Soft Computing*, 26, 508-512.
- Lupo, T. (2015). Fuzzy ServPerf model combined with ELECTRE III to comparatively evaluate service quality of international airports in Sicily. *Journal of Air Transport Management*, 42, 249-259.
- Menekşe, A. & Akdağ, H. C. (2023). Medical waste disposal planning for healthcare units using spherical fuzzy CRITIC-WASPAS. *Applied Soft Computing*, 144, 110480.

- Miremadi, A., Ghalamkari, S. & Sadeh, F. (2011). Customer satisfaction in port industry (A case study of Iranian shipping). *International Conference on Sociality and Economics Development*, 10, 58-62.
- Mishra, A. R., Rani, P., Deveci, M., Gokasar, I., Pamucar, D. & Govindan, K. (2023). Interval-valued Fermatean fuzzy heronian mean operator-based decision-making method for urban climate change policy for transportation activities. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124, 106603.
- Narasimha, P. T., Jena, P. R. & Majhi, R. (2021). Impact of COVID-19 on the Indian seaport transportation and maritime supply chain. *Transport Policy*, 110, 191-203.
- Ocampo, L., Alinsub, J., Casul, R. A., Enquig, G., Luar, M., Panuncillon, N., ... & Ocampo, C. O. (2019). Public service quality evaluation with SERVQUAL and AHP-TOPSIS: A case of Philippine government agencies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68, 100604.
- Othman, M. K., Rahman, N.S.F.A., Ismail, A., Osnin, N.A. & Hanafiah, R. M. (2023). Revisiting Malaysia's port classification system in a complex operational environment to streamline the coordination and management of maritime ports. *Case Studies on Transport Policy*, 13, 101062.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A. & Berry, L. L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*, 49(4), 41-50.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A. & Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: A multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12-40.
- Park, R.K. & De, P. (2004). An alternative approach to efficiency measurement of seaports. *Maritime Economics & Logistics*, 6, 53-69.
- Phan, T. M., Thai, V. V. & Vu, T. P. (2021). Port service quality (PSQ) and customer satisfaction: An exploratory study of container ports in Vietnam. *Maritime Business Review*, 6(1), 72-94.
- Prati, M. V., Costagliola, M. A., Quaranta, F. & Murena, F. (2015). Assessment of ambient air quality in the port of Naples. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(8), 970-979.
- Roa, I., Peña, Y., Amante, B. & Goretti, M. (2013). Ports: Definition and study of types, sizes and business models. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 6(4), 1055-1064.
- Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
- Saaty, T.L. (1980). *The analytic process: planning, priority setting, resources allocation*. McGraw, New York.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Senapati, T. & Yager, R. R. (2019). Fermatean fuzzy weighted averaging/geometric operators and its application in multi-criteria decision-making methods. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, 112-121.

- Senapati, T. & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 663-674.
- Shu, Z., Torralba, M. H., Carrasco, R. A. & López, M.F.B. (2023). Assessing customer satisfaction of London luxury hotels with the AHP method and the SERVPERF scale: A case study of customer reviews on TripAdvisor. *Procedia Computer Science*, 221, 73-80.
- Simić, V., Ivanović, I., Đorić, V. & Torkayesh, A.E. (2022). Adapting urban transport planning to the COVID-19 pandemic: An integrated fermatean fuzzy model. *Sustainable Cities and Society*, 79, 103669.
- Smarandache, F. (1998). Neutrosophy: neutrosophic probability, set, and logic: Analytic synthesis & synthetic analysis. *Amer. Res. Press*.
- Song, D. W. & Yeo, K.T. (2004). A competitive analysis of Chinese container ports using the analytic hierarchy process. *Maritime Economics & Logistics*, 6, 34-52.
- Sun, Y., Zhou, X., Yang, C. & Huang, T. (2023). A visual analytics approach for multi-attribute decision making based on intuitionistic fuzzy AHP and UMAP. *Information Fusion*, 96, 269-280.
- Talley, W.K. (2013). Maritime transportation research: topics and methodologies. *Maritime Policy & Management*, 40(7), 709-725.
- Talley, W. K., Ng, M. & Marsillac, E. (2014). Port service chains and port performance evaluation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 69, 236-247.
- Talley, W.K. & Ng, M. (2016). Port economic cost functions: A service perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 1-10.
- Talley, W.K. (2019). Note: Determinants of cargo port choices by cargo port service providers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 132, 48-50.
- Thai, V.V. (2008). Service quality in maritime transport: Conceptual model and empirical evidence. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 20(4), 493-518.
- Thai, V.V. (2016). The impact of port service quality on customer satisfaction: The case of Singapore. *Maritime Economics & Logistics*, 18, 458-475.
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6), 529-539.
- Tumsekcali, E., Ayyildiz, E. & Taskin, A. (2021). Interval valued intuitionistic fuzzy AHP-WASPAS based public transportation service quality evaluation by a new extension of SERVQUAL Model: P-SERVQUAL 4.0. *Expert Systems with Applications*, 186, 115757.
- Ugboma, C., Ogwude, I. C., Ugboma, O. & Nnadi, K. (2007). Service quality and satisfaction measurements in Nigerian ports: An exploration. *Maritime Policy & Management*, 34(4), 331-346.
- UNCTAD, (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. Retrieved October 13, 2023 from [https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf).

- Viet, N.H. (2015). Service quality at the seaport system of saigon newport corporation. *Int. J. Mark. Stud*, 7(6), 145-154.
- Yager, R., (2013). *Pythagorean fuzzy subsets*. Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, (IFSA/NAFIPS) (2013), 57-61.
- Yeo, G. T., Thai, V. V. & Roh, S.Y. (2015). An analysis of port service quality and customer satisfaction: The case of Korean container ports. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(4), 437-447.
- Zeithaml, V. A., Berry, L. L. & Parasuraman, A. (1993). The nature and determinants of customer expectations of service. *Journal of The Academy of Marketing Science*, 21, 1-12.
- Zhou, C., Ma, N., Cao, X., Lee, L. H. & Chew, E.P. (2021). Classification and literature review on the integration of simulation and optimization in maritime logistics studies. *IISE Transactions*, 53(10), 1157-1176.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

**KARİYER PLANLAMADA YENİ KURAMLARIN  
ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNE YÖNELİK  
BİR KAVRAMSAL MODELLEMESİ**

**A CONCEPTUAL MODELLING OF NEW THEORIES IN CAREER PLANNING  
FOR UNDERGRADUATE STUDENTS**

**Zeynep ALTAN<sup>1</sup>**

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1288421>

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author*  
zeynepaltan@beykent.edu.tr

*Geliş Tarihi / Received*  
27.04.2023

*Kabul Tarihi / Accepted*  
5.10.2023

**Öz**

Çalışmada yazılım mühendisliği öğrencilerinin kariyer planlamalarına yönelik geliştirilen ontolojinin temel yapısı anlatılmaktadır. Bu bağlamda öncelikle kariyer geliştirme sistemlerine ilişkin yeni yaklaşımlar incelenmiştir. Kariyer, bireyin yaşamı boyunca sürdürdüğü uğraşları olarak özetlenebilir. Bireyin mesleğe başlamadan yönelebileceği işlerin belirlenmesinde kişisel farkındalıklar ve çevresel koşullar etkilidir. Bilgi teknolojileri başta olmak üzere pek çok sektörde proje odaklı çalışmalara yoğunlaşma iş ortamlarını değişken bir yapıya dönüştürmüştür. Bu dönüşüm kariyer gelişimine yönelik teorik çalışmalarını da etkilemiştir. Çalışmanın teorik altyapısı örgütsel davranışların ötesinde tüm sınırları aşan *Sınırsız Kariyer* ile birlikte kariyerin bireyin yönelimleriyle yönetildiğine odaklanan *Çok Yönlü Kariyer* kuramlarına dayanmaktadır. Tasarlanan ontolojinin temel yapısı *Genel Sistemler Teorisi* olması nedeni ile tüm meslek gruplarına uygulanabilmesi mümkündür. Protégé platformunda geliştirilen ontoloji ise öğrencilerin sorulara verdikleri cevaplardaki özelliklerle betimlenmektedir. Bunlar, günümüz kariyer gelişimi çalışmalarına ait üç farklı kuramsal yaklaşımın birlikte kullanıldığı sınıflardır; bunlar *Kariyer Uyumu*, *Çalışan Refahı* ve *Kariyer Seçimi* üçlüsü ile adlandırılır. Soruların cevaplarında bu üç özellik birlikte değerlendirilmektedir. Özetle her bir soruya ait cevap şıkları kariyer geliştirmede yeni yaklaşımları açıklayacak şekilde belirlenmektedir. Bireyin kariyerine ilişkin farklı değerlendirme ölçütleri arasındaki ilişkinin tasarlandığı bu ontoloji, kariyer gelişiminin istatistiksel yöntemlerle araştırıldığı diğer ontolojilerle birlikte kullanılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Çalışan refahı, kariyer planlama, kavramsal modelleme, ontoloji, Protégé.

**Abstract**

The developed ontology presents a basic study for the career planning of university students. Firstly, new approaches to career development systems were investigated. The pursuits of an individual throughout the life is summarized as career. The individual's personal awareness and environmental conditions before starting the profession are effective in career orientation. Focusing on project-oriented studies in information sector has transformed the business environment into a different form. This has also affected the theoretical studies on career development. The theoretical background depends on the *Boundaryless Career Theory* that crosses all boundaries beyond organizational behaviors, as well as the *Protean Career Theory* that focus on the management of career by the individual's orientations. Since the basic structure of the designed ontology is the *General Systems Theory*, it is possible to apply the paper to all occupational groups. Ontology is developed on the Protégé platform with the theoretical classifications of a survey. Three approaches of today's career development studies are used together and called as *Career Adaptation*, *Employee-Well-Being*, *Career Choice* triple. They are evaluated together for the answers. Briefly, the answer choices are determined to explain new horizons in career development. It is also possible to use this ontology together with other ontologies.

**Keywords:** Career planning, conceptual modelling, employee-well-being, ontology, Protégé

<sup>1</sup>İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.  
zeynepaltan@beykent.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0383-9261.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde iş başvuruları öğrencilerin mezun oldukları okullardan ziyade analitik becerileri, öğrenme yetkinlikleri ve çalışma alanındaki gelişebilme farkındalıkları gibi bireysel ölçütlere göre değerlendirilmektedir. Bu tür pek çok özellik bireyin mesleki yönelimlerinin öğrencilik yıllarında belirginleşmesinin önemini vurgular ve yaşama uyum ile kariyer arasındaki ilişkinin fark edilebilmesi mutluluğun göstergesini oluşturur. Çalışmanın kavramsal tasarımı kariyer gelişimi kuramlarının başlangıcı olarak kabul edilen *Genel Sistemler Teorisi* çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu çerçevede sistem, etkileşim halindeki karmaşık elemanlar olarak tanımlanır (von Bertalanffy, 1968). Böylece Aristoteles'in tanımlamasıyla başlayan birbirinden farklı sistem betimlemelerine bir yenisi daha eklenmiştir (Dancy, 1975). Diğer taraftan kariyer geliştirmede *Dizgesel (Sistemsel) Düşünme*, parçalardan ziyade bütüne odaklanarak eğitim, bilgisayar, taşımacılık sistemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmıştır (Ison & Russell, 2000). Bütünün sadece parçaların toplamı olmayıp bunların bütünleştirilmiş bir yapısından oluştuğu şeklindeki *Gestalt İlkesi* ifadesi, kariyer seçiminde birey-çevre etkileşiminde oldukça önemlidir ve bu ilkenin kavramsal çerçeve içerisinde daha ayrıntılı incelenmesi gerektiği görüşü 30 yıl önce belirtilmiştir (Hartung, 1991).

*Genel Sistemler Teorisinin* açıklamaları temelinde farklı kariyer geliştirme kuramlarından yapılan ilişkilendirmeler ontolojik sınıflandırmaya katkı sağlayarak bu çalışmanın *Anlamsal Ağını* oluşturmuştur. Bu bağlamda problemin çözüm algoritması olarak kullanılacak veri seti tanımlanmış ve tasarlanan ontolojik yapının anlamlı sonuçlar üretebilmesi sağlanmıştır. Çalışmada öğrencilere ait meta bilginin bilimsel yollardan bilinçli şekilde çıkarımı, bunların birbirleri ile ilişkilerini de anlamlı kılacaktır. Böylece karmaşık sorgulamaların sonuçları da verimli bir şekilde yorumlanabilecektir.

Çalışmada bilginin kavramsal betimlemesi için bir ontoloji tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni öğrencilerin kariyer planlamaları ile ilgili olarak tasarlanan model kapsamında yapılmış Türkçe bir araştırmaya rastlanmamış olmasıdır. Ayrıca problemin bu yolla çözümü kariyer planlamasında sadece bilişim alanındaki öğrencilere değil tüm üniversite öğrencilerine uygulanmak üzere genişletilebilmeyi de mümkün kılmaktadır (Dascalu vd., 2022; Ilkou vd., 2021). Ontolojiler, günümüzde basit bilgi yönetiminden karmaşık yapay zekâ modellerine kadar pek çok uygulamanın kaynağı olmuştur. Büyük miktarda verinin kullanılabilmesi ve dijital dönüşüme uygunluğu problemlerin çözümünde ontoloji tasarımının tercih nedenlerindedir. İnsan kaynakları yönetimi ve bu bağlamda yeteneklerin geliştirilmesi gibi çalışma alanları büyük miktarda veri içermeleri nedeni ile daha fazla otomasyon gerektirir. Diğer taraftan iş gücü ve kariyer planlaması çalışmalarının otomasyonuna destek olmak üzere ontoloji uygulamalarının giderek artması beklenmektedir.

Çalışmanın sonraki bölümünde kariyer geliştirmede yeni kuramlar anlatılmakta, Bölüm 3 'de ise yazılım mühendisliği bölümü öğrencilerinin kariyer planlamalarına yönelik ontolojinin tasarımı yapılmaktadır. Bölüm 4'de ise, kariyer geliştirmeye yönelik kuramsal bilgilerle geliştirilen ontoloji modelinin ilişkileri ve sonuçları açıklanmaktadır.

## 2. KARIYER GELİŞTİRMEDE YENİ KURAMLAR VE ETKİLERİ

Kariyer gelişimi ile ilgili olarak Avrupa Parlamentosu tarafından yapılan bir araştırmada geleceğin iş kollarına ilişkin gereksinimler *bilgi*, *beceri* ve *yeterlilik* olarak tanımlanmıştır. Bu gereksinimler sırası ile “*ne bilinir?*”, “*nasıl bilinir?*” ve “*niçin bilinir?*” sorularını cevaplamaktadır (European Parliament Council, 2008). Araştırma raporunda, eğitim dünyası ile iş dünyasının arakesitini yeterlilikler dünyasını oluşturmaktadır. Mikulec (2017), *Avrupa Yeterlilikler Çerçevesi* isimli



araştırmasında Avrupa ülkelerini karşılaştırmıştır. Aynı yıl bu çerçeve güncellenmiş ve yaşam boyu öğrenmenin gerekliliği eklenmiştir (European Parliament Council, 2017).

Diğer taraftan kariyer gelişimi çalışmalarında çözüm modelleri araştırma hipotezlerine göre geliştirilir. Bu bağlamda uygulanacak teori ile uyumlu hipotezler belirlenir. Hipotez, genellikle bir anketle ilişkilendirilmiş teorik ifadelerden oluşur. Anketin cevapları ile ilişkilendirilen değerlendirme ölçütlerinin analizi yapılarak hedeflenen tahmine ulaşılır (Li vd., 2019; Rodrigues vd., 2019; Nas & Doğan, 2020). Günümüzün kariyer danışmanlık çalışmalarının deneysel ve nesnel modern yöntemlerden nitel değerlendirmelerin yapıldığı post modern araştırmalara dönüştüğü görülmektedir. Ülkemizde de kariyer danışmanlığı ve mesleki yönelimler konusunda deneysel yöntemlerle gerçekleştirilmiş, sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirildiği pek çok yüksek lisans, doktora çalışması ve bilimsel araştırma bulunmaktadır. Bunların değerlendirme sonuçlarında, çalışmada anlatılan ve ontoloji verisini oluşturan niteliksel ölçütlerin ayrıntılı analizlerine pek rastlanmamaktadır.

## 2.1. Kariyer Geliştirmede Yeni Kuramlar

Bölüm 2.1.1'den Bölüm 2.1.3'e kadar yapılan betimlemeler, öğrencilerin kariyer planlamalarına yönelik olarak bu çalışmanın uygulamasında yer alan kuramları içermektedir. Bölüm 2.1.4'de ise yine bu çalışma ile ilişkilendirilebilecek, ama çalışmada birebir uygulanmayan Holland'ın kariyer seçimi kuramı kısaca anlatılmaktadır.

### 2.1.1. Kariyer uyumu

Kariyer geliştirilmesi ile ilgili teorik çalışmalarda *Kariyer Uyumu* (Career Adaptability) ölçütüne ve ilişkilerine daha yoğun odaklanıldığı (Kaya vd., 2014; McIlveen & Midgley, 2015) ve *Kariyer Uyumunun Kariyer Yapılandırma* kuramının merkezine oturduğu görülmektedir. *Kariyer Uyumu*, kariyer değişimleri sürecinde ise karşılaşılabilecek sıkıntıların yönetimi olarak yorumlanmaktadır. Bu nedenle *Kariyer Uyumu* kuramı kariyer planlamasının yaşam boyu devam edeceği gerçeğini de vurgular. *Kariyer Uyum Yetenekleri* ilgili olma (*concern*), güven (*confidence*), kontrol (*control*) ve merak (*curiosity*) özellikleri ile tanımlanmıştır (Savickas, 2013). Erdoğan Zorver ve Yeşilparmak (2021) her bir kuramı aşağıdaki tanımlamalar bağlamında çalışmalarının cevaplarına yönlendirmişlerdir:

*“İlgili olma, bireyin mesleki geleceğinin farkında olması ve mesleki geleceğini hazırlama düzeyidir. Güven, mesleki sorunları çözmeye yönelik öz-düzenleme algısı ve engelleri aşabilmek için gerekeni başarıyla yapabilme becerisidir. Kontrol, bireyin kariyerini hazırlamaya ilişkin kişisel sorumluluklarıdır. Bunlar, ilgilendiği alana yönelik mesleki durumu ve geleceğine ilişkin kişisel kontrol algısıdır. Merak, farklı iş olanaklarının keşfedilmesi ve öğrenilmesiyle farklı mesleki ortamları keşfetmeye ilişkin kişisel eğilim ve beceridir”.*

### 2.1.2. Çalışan refahı

Araştırmalarda, *Çalışan Refahını* (Employee Well-Being) sağlamanın stresin azalması ve üretkenliğin artması gibi bir dizi olumlu sonuçla ilişkili olduğu görülmektedir. Özellikle bilişim sektöründeki şirketlerde çalışan refahının ürün geliştirme başarısında önemli bir ölçüt olduğu fark edildiğinden beri kişinin memnuniyeti için çeşitli yaklaşımlar uygulanmaktadır. *Çalışan Refahı* olarak adlandırılan bu değerlendirme sistemi araştırma grupları ve büyük kuruluşlarda farklı boyutları ile uygulanmaktadır (Page & Vella-Brodrick, 2009; Yang vd., 2019). Araştırmacılar ise çalışanların genel refahını ifade etmek üzere, psikolojik iyi oluş ve öznel iyi oluş kavramlarını da kullanmakta; bireylerin uyum sağlamları, kişisel farkındalıkları ve düzenleme becerileri gibi yeterliliklerini incelemektedir.

### 2.1.2.1. Teknolojik gelişmelerin çalışan refahına etkileri

İnsan–teknoloji etkileşimi 2000’li yılların başından beri insanı merkeze almaktadır. Kullanıcı merkezli tasarım sürecine ait olan UX (User Experience) teriminin kullanımı, bilgisayar bilimleri ile psikolojinin temel etkileşim alanı olarak 20. yüzyılın son yıllarından itibaren hızla yaygınlaşmıştır (Norman, 1998). Norman, mühendislikten sosyal bilimlerin her dalına insanın merkezleşmesinin önemini vurgular. Bu yeni kavram Stanford Üniversitesi Tasarım Okulu’nda (Hasso Plattner Institute of Design) tasarım alanında radikal bir paradigma değişikliğine neden olmuştur. Böylece bireyler adına karar vermek yerine tasarım odaklı düşünme yaklaşımının benimsendiği insan ve toplum çalışmaları ana eksene alınmıştır. Bu değişimde psikolojinin modern kişilik tip kuramı bileşenleri de rol oynamıştır. Bunlar yaratıcılık, güven duyma, bağ kurma, bir grubun içerisinde özerkleşebilme, çevre ile iletişimde bulunabilme, anlam bulma olarak özetlenebilir. Diğer taraftan Toplum 5.0 (Süper Akıllı Toplum) tanımlaması, bilim ve teknolojiye ek olarak üretimde insan dokunuşunun geri dönüşünü vurgular (Saracel & Aksoy, 2020). Bu, insanın üretime yaptığı katkının pozitif etkisidir. Tüketimde kişiselleştirilmiş ürünlere olan talebin artışıyla, üretim tarafında ürünün verimliliğini artırmak için insan bileşeni ön plana çıkartılmıştır. Endüstri 4.0 ve Toplum 5.0 işbirliğinde dijitalleşmenin sunduğu olanaklarla sosyal problemlerin çözülerek sürdürülebilir akıllı toplumların yaratılmasında, üreticilerinin rolü giderek daha önemli olmaktadır. Toplum 5.0’ın yaygınlaşma hızının istenilen düzeye çıkamamasının başlıca nedeni nitelikli ve donanımlı işgücü sayısındaki eksikliklerdir; bunu sosyo-politik önyargılar, toplumsal direnç ile birlikte dijitalleşmedeki bilimsel engellerin izlediği bilinmektedir. Bunlar insanın yaşam kalitesindeki eksikliklerdir. Bu nedenle de kişinin yakın çevresi ile birlikte eğitim yaşamı boyunca elde etmiş olduğu kazanımlar hem kariyerine hem de yaşadığı toplumun geleceğine yön vermektedir (Gleason, 2018).

### 2.1.3. Kariyer seçimi

*Kariyer Seçimi* (Career Choice) kuramı, kültürel farklılıklar betimlenerek *bireyci* ve *toplumcu* olarak iki sınıfta incelenmektedir (Akosah-Twumasi vd., 2018; Aycan & Fikret-Pasa, 2003). Kariyer tahminine yönelik yapılan çalışmalarda *Kariyer Yapılandırma* (Career Construction) sınıflandırmasının ortaya çıkışı şöyle özetlenebilir:

*Kariyer gelişimi çalışmalarının oldukça verimli bir sentezi olan Sistemler Kuramı Çerçeve Çalışması (Systems Theory Framework) birbiri ile ilişkili sistemlerden oluşur ve yeni bir kariyer gelişimi planlamasının tasarlanması yerine farklı kariyer planlaması çalışmalarında açıklanmış çok sayıda kariyer gelişimi kavramını içerir (Patton & McMahon, 2014).*

Kariyer Yapılandırmanın birbirleriyle etkileşen sistemlerin birleşimi ilkesi altında *Genel Sistemler Kuramına* uzanır (von Bertalanffy, 1972). Bu kurama ait *Dizgesel Düşünme* ile kariyer tahminine yönelik öğrenme sistemlerinin kavramsallaştırılması ve bunların kariyer geliştirme uygulamalarına aktarımı sağlanmıştır (Savickas, 2013).

### 2.1.4. Holland’ın kariyer seçimi kuramı

Üniversite eğitiminin tüm alanlarında olduğu gibi özellikle bilişim sektöründe uzmanlaşacak gençler gerek sosyal gerekse mesleki yaşamlarında teknolojik değişimlerden doğrudan etkilenmektedir. Dijital dönüşümle artan iş olanaklarını öğrencilik yıllarında yakalamada sadece çalışma alanına olan ilgi ve temel bilgi yeterli değildir; öğrencinin kişisel özellikleri ile birlikte o zamana kadar ki yaşam biçimi de mesleğe girişte rol oynamaktadır. Holland bu rolü kariyer seçimi ve kariyer uyumunun kişiliğin bir uzantısı olduğunu ifade ettiği Tip Teorisi ile özetlemiştir (Holland, 1997; Holland & Messer, 2015). Günümüz kariyer danışmanlığı çalışmalarında halen değerlendirilmekte olan Holland’ın bu tiplerini Gerçekçi, Araştırmacı, Sanatçı, Sosyal,

Girişimci ve Geleneksel kişilikler olarak bir çokgenin köşelerini oluşturur ve kişiye mesleğini kavramsallaştırabileceği bir çerçeve sunar. Bu tipoloji sistemi ile kişinin çevresiyle olan deneyimleri de sınıflandırılmaktadır. Her tipin birbirleri ile karşılıklı ilişkisi yüksek, orta ya da düşük düzeyde uyum, ayrışma, tutarlılık ve kimlik olarak açıklayıcı yapılar oluşturur. 6 farklı kişilik tiplerinin kavramsallaştırması olan bu dört yapı, kişiliklerin birleşimlerini oluşturan örüntülerinin ayrıntılı analizleridir. Örneğin tutarlılık özelliği bazı tiplerin diğer tiplere göre daha fazla ortak özelliği olduğunu ya da birbirlerinden oldukça farklı olduklarını vurgular. Gerek kişilik özelliklerinin gerekse çevresel faktörlerin etkilediği tutarlılık yapısı, yapılan çalışmanın üçlüleri ile de eşleşmektedir.

## 2.2. Dijital Çağın Kariyer Yönlendirmeleri

21.yüzyıl ile birlikte öğrencilere ne öğreneceklerinden ziyade nasıl öğreneceklerini öğreten bütüncül eğitim sistemlerine yönelik çalışmaların sayısı artmış ve uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır. Her ülkenin kendi dinamiklerine göre ekonomisinin ihtiyaçlarını karşılayabilen, çevresi ile uyumlu, dijital dönüşümün gerektirdiği teknolojik altyapılarla çalışabilen bireyler yetiştiren bir eğitim sistemi geliştirmesi hedeflemelidir. Eğitimin her kademesinde dijital çağın gerektirdiği yeterliklerin ve gelecekte daha da önem kazanacağı tahmin edilen üst düzey bilişsel becerilerin kazandırılması odağa alınmalıdır. Diğer taraftan dijital dönüşüm sürecinin verimli ve etkili bir şekilde yürütülebilmesi için mevcut işgücünün dijital yetkinlikleri geliştirilmeli, kurumların dijital teknolojilerle sağlayacakları potansiyel katkılar konusunda bilgi ve bilinç düzeyleri arttırılmalıdır. Bunun farkındalığı için de eğitim ile birlikte toplumsal ve kişisel yetkinliklerin çeşitliliği önemlidir.

Küresel düzeydeki istihdam açığının en temel nedeninin eğitim olduğu açıktır. Nitelikli iş gücüne olan ihtiyaç engelinin aşılabilmesi için dijital dönüşüm sürecini tasarlayacak, yönetecek ve sürdürebilir kılabilecek bireylerin yetiştirilmesi ve eğitim altyapısının bu işgücünü yetiştirecek düzeye ulaşması gerekmektedir. Kişinin kendini eğitmesi, meslek seçiminin doğru olduğundan emin olması ve öğrenme sürecini severek geçirmesi ön plana çıkmalıdır. Bu gereksinimleri karşılayacak işgücünün yetişmesi, bunun için de kişinin kariyeri ile ilgili olarak vizyonunu belirlemesi önemlidir. Kişi geleceğe ilişkin hedeflerini yetenekleri çerçevesinde ne kadar erken şekillendirirse o kadar hızlı gelişecektir. Dönüşümün bir parçası olabilmek için sürekli gelişmeyi yani yaşam boyu öğrenmeyi hedefleyen bir zihniyet ve dayanıklılık gereklidir. Endüstri 4.0 çağında üniversite eğitim-öğretimindeki yönelimler klasik okuryazarlıkların ötesinde tanımlanmalıdır. *Öğrenme-3.0* konusundaki duyarlıklar *Eğitim-4.0* hedeflerine daha kolay ulaşılmasını sağlayacaktır. Böylece kariyere çağdaş öğrenme modelleri ile alanında donanımlı ve mutlu bireyler olarak başlamak mümkündür (Aoun, 2017; Rubens vd., 2014; Himmetoğlu vd., 2020).

Veri, teknoloji ve beşeri okuryazarlık olarak adlandırılan kavramlar, günümüzde kişinin mesleğe başlamadan önce ve sonrasında kariyer planlamasının bir değerlendirme ölçütü olan *Çalışan Refahı* için önemlidir. Örneğin, lisans programlarında yer alan veri madenciliği ve istatistiksel analiz uygulamaları kullanılan teknolojiye ve dile hâkimiyeti ölçümlerken, çözüm motorlarının çalışma biçimleri veri ve teknoloji okuryazarlığını biçimlendirecektir. Çözümünecek problemin tasarımı ve geliştirme adımlarında farklı disiplinlerle iletişim ise beşeri okuryazarlıktır. Bu birkaç örnek bile üniversite ders programlarının güncellenmesine verilen önemin bireyin kariyeriyle ilgili yönelimlerini pozitif yönde nasıl etkileyeceğini göstermektedir.

Diğer taraftan günümüz çalışma ortamında bilginin tek başına yeterli olmadığı bir başka gerçektir. Bu nedenle insana odaklanma, kişinin sahip olduklarından ziyade bilişsel kapasitesinin dizilimini ön plana çıkarmaktadır; bunlar kişinin düşünme biçimlerini oluşturan üst düzey zihinsel becerilerdir. Zihinsel becerilerin ilk ölçütü konuyu bütünsel olarak görebilme ve farklı işlevlerin birleştirilmesinde aralarında bağlantılar kurabilme yeteneğidir. Bu, Bölüm 2.1.3 'de açıklanan

*Dizgesel Düşünmedir* (Lent vd., 2007). Diğer zihinsel beceri *girişimcilik*, üçüncüsü ise *çeviklik*dir. Kültürel çeviklik öğrenciler bağlamında değerlendirildiğinde, farklı küresel ortamlara uyum sağlayabilme becerilerinin ölçüsüdür (Caligiuri, 2013). Bu da öğrencilerin kariyer planlamalarında, eğitim programları ile birlikte farklı kazanımlarla geliştirdikleri zihinsel becerilerini ön plana çıkarır. Eleştirel düşünme, bireyin zihinsel becerilerinde rasyonel analiz ve muhakeme alışkanlığını aşılır (Sola vd., 2017). Kurumların başarısında bireylerin gelişmesinin ve yaptıkları olumlu hizmetlerin rolü, yani *Çalışan Refahı* yıllardır belirtilmektedir (Carolan vd., 2017). Pozitif ve huzurlu bir toplum için, teknolojik birlikteliklerin artması ve modern çalışma ortamları ile kurumsal refahın sağlanması ana hedef olmalıdır. Üretkenlik ve verimlik yerine sosyal role odaklanma ve çalışan refahı Toplum 5.0 vizyonudur. Bu alan, mobil dijital teknolojiler olan Endüstri 5.0 'ın insan merkezli bakış açısıyla örtüşür (Ghazy & Fedorova, 2022). Tüm bu gelişmelerin üniversitelerin gelecekteki yapılanmasına etkilerinin neler olacağı konusundaki farklı bakış açılarından değerlendirmeler hızla artmaktadır (Carayannis & Morawska-Jancelewicz, 2022).

Sonuç olarak, günümüz sosyal yaşamının doğrudan yönlendirildiği teknolojik gelişmelerle bunları gerçekleştiren toplumların eğitim ve refah düzeyleri doğrudan ilişkilidir. Siber-fiziksel sistemlerin işgücünde kullanılması ve toplumdaki etkileri için öncelikle mühendislik eğitim-öğretim programlarının acil olarak değişmesi gerekmiştir (Serdyukov, 2017). Bunu o yıllarda fark eden ülkeler, hem yaratıcılığı hem de eleştirel düşünmeyi ön plana çıkartarak ilerlemeyi gerçekleştirebilmişlerdir. Günümüzde, öncelikle bilişim alanı olmak üzere pek çok sektörde inovasyona olan ihtiyaç, mühendislik lisans öğrencilerine yaratıcı ve eleştirel düşünebilen programlarla daha kolay karşılanabilir. Ama bununla ilgili bildirimler üniversitelerin mühendislik öğrencilerinde eleştirel düşüncede durgunluk ve yaratıcılığın gerilediğini göstermektedir (Carnegie Mellon University, 2023).

### 3. KAVRAMSAL MODELLEME: ONTOLOJİNİN OLUŞTURULMASI

#### 3.1. Yeni Kuramların Ontoloji Modelinde Kullanılması

*Kariyer Uyumu*, *Çalışan Refahı* ve *Kariyer Seçimi* kuramları çalışmanın ontolojisinin tasarımında birlikte değerlendirilmektedir. Uygulamanın veri setini oluşturmak üzere hazırlanan ve Ek1'de verilen ankette öğrencilere sorulan soruların cevapları *Career Adapt-Abilities Scale + Cooperation Scale* (CAAS+C) ölçütlerine göre hazırlanmıştır. Böylece çalışmanın *Kariyer Uyumuna* ait bir boyutu olan işbirliği, değerlendirme ölçütlerinden biri olmuştur (Hirschi & Valero, 2015). 2015 yılına kadar yapılmış olan çalışmalarda bireylerin davranışları ve yeterlilikleri Career Adapt-Abilities Scale (CAAS) betimlemesiyle öz düzenleme bağlamında belirlenmekteydi (Savickas & Porfeli, 2012) ve CAAS kaynakları benlik kavramını iş rolleri ile ilişkilendirmekteydi. Daha sonra CAAS+C, aynı araştırmacılar tarafından farklı psikososyal ölçütlerle tanımlanmış ve sınıflandırma yapılırken bireyin kariyerinin oluşturulması Likert 5 ölçeğinde değerlendirilmiştir; zira çalışmalar sırasında her bir davranış ya da karar için olumlu sonuçlanacak bir birey örneği bulanamamıştır. Ayrıca her bireyin yapısı gereği güçlü olduğu farklı özellik ve durumların da ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Öğrencilerin kariyer planlamalarının tahminine yönelik olarak yapılan bu çalışmanın da çatısını oluşturan anketin son iki sorusunun cevapları, CAAS+C kuramı ile örtüşmesi nedeni ile Likert 5 ölçeğinde değerlendirilmiştir.

Bölüm 2.1.2 'de açıklandığı gibi, *Çalışan Refahının* genel tanımı günümüzde yaşamın tüm olgularının birbiriyle bütünleştiği Toplum 5.0 tanımlaması ile eşleştirilebilir. Bu nedenle çalışmanın ontolojik değerlendirmesinde *Çalışan Refahı* ayrı bir unsur olarak alınmıştır. Bu unsurun tarihsel öyküsü kısaca özetlenecek olursa, gelişmiş teknolojilerin bir sentezi olan yenedünya düzenine toplumsal yaşamın başlangıcı kabul edilen avcı toplumlardan insanlığın

sürekli evrilmesi sonunda gelinmiştir. Emek yoğun üretime odaklanılan dönemleri bilişimin ortaya çıktığı bilgi çağı izlemiştir. İnsanlığın 100 yıllık dönemlerdeki sosyal, kültürel ve ekonomik değişimi, bilişimin doğuşundan 40 yıl sonra siber-fiziksel sistemleri, yani yapay zekâyı insan yaşamına sokmuştur. İnsanlık tarihindeki tüm dönüşümlerin yapılan bu çalışmaya etkisi üretimin teknolojiyle birleşmesiyle insan merkezli yaşamın hedeflendiği bilgi toplumuna geçiştir. Günümüzde bireylerin çalışma yaşamındaki refahlarının sağlıklı bir toplum yaratmadaki en temel faktör olduğu kabul edilir. Kişinin kariyer yönelimleri ile ilgili olarak hazırlanan ve Ek 1 'de verilen anket soruları ve cevapları da bu olgular bağlamında hazırlanmıştır. Aslında, teknoloji yoğun çalışma ortamlarının hem kurumsal, hem kişisel refahı geliştireceği düşüncesi Toplum 5.0'in temel hedefidir.

*Sistemler Kuramı Çerçeve Çalışmasında* bireye ait kişisel sistem ile birlikte sosyal ve çevresel-toplumsal sistemin birbirleriyle etkileşimli iki niteliksel öge olarak incelendiği Bölüm 2.1.3'de açıklanmıştır. Çerçeve çalışmasının bireysel özelliklerinden yaş, cinsiyet gibi somut değerli fiziksel nitelikler bu çalışmada tasarlanan modelin dışında bırakılmış olup; benlik kavramı, yetenek, inançlar, kişilik, ilgi alanları, değerler, yetenekler, beceriler, iş yaşamına ilişkin bilgiler değerlendirilmektedir. Çerçevenin, buradan da bu çalışmanın sosyal sistem ögesi ise kişinin iş yaşamında gerçekleştirdiği pozitif etkiler ve davranışları, aile ve arkadaşları, işveren ve öğretmenlerle olan etkileşimleri olarak tanımlanırken, çevresel-sosyal etkiler bireyin finansal durumu ve iş yaşamındaki hareketliliği gibi faktörlerle belirlenmektedir. Bu özellikler çalışmada tasarlanan ontolojinin *Kariyer Seçimi* kuramını oluşturmaktadır.

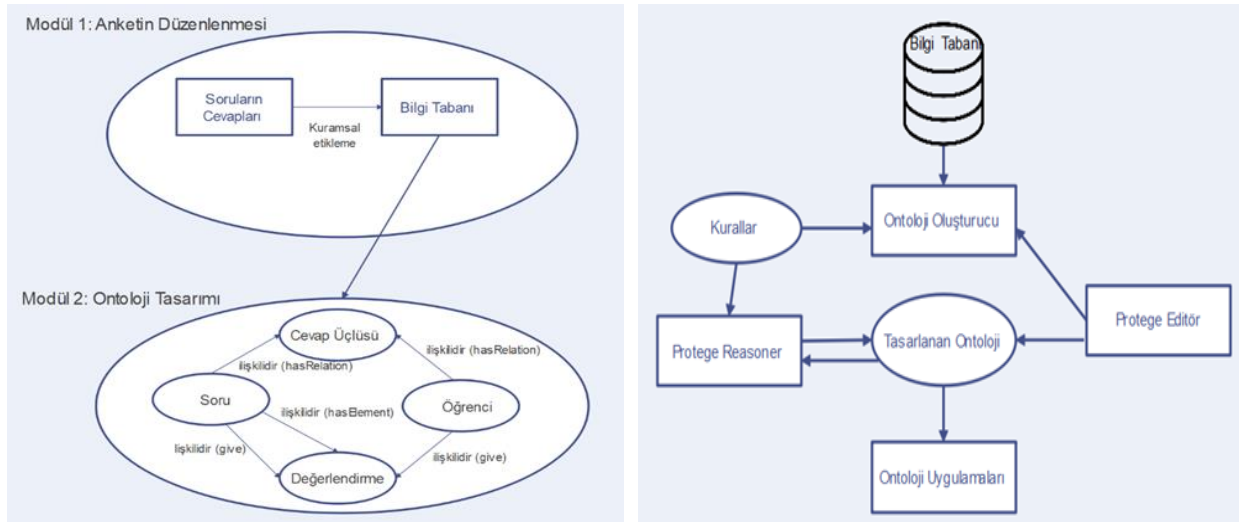
### 3.2 Modelin Tasarımı

Günümüzde bilginin yönetiminden karmaşık yapay zekâ modellerine kadar pek çok uygulamada ontolojiden yararlanılmaktadır. Herhangi bir alana yönelik bilginin farklı uygulamalarla ortak kullanımı ontoloji çalışmalarının temelini oluşturur. Bilginin işlendiği problemlerin kavramsal çözümünde ontoloji kullanılmasının nedeni, büyük miktarda verinin dijital dönüşüme uygunluğudur. Örneğin, insan kaynakları yönetimi ve yeteneklerin geliştirilmesi çalışmaları büyük veriyi işlemek üzere otomasyon gerektirir. İş gücü ve kariyer planlaması problemlerinin otomasyonuna destek olmak üzere ontoloji oluşturulan uygulamalar günümüzde giderek artmaktadır. Ontolojinin en üst düzeydeki soyutlama süreci, oluşturulan ve sonucuna bakılmayan yaşam rolleridir. Bu soyutlama ontoloji editörü Protégé<sup>2</sup> ile *thing*, yani T üst sınıfı olarak ifade edilir. Ontolojide kavramlar sınıfları oluştururken, sınıflar kavramların somut simgelenişleridir. Taksonomi boş ontoloji olan *thing* ile başlar ve yine boş ontoloji olan *nothing* ⊥ ile sonlanarak bir *lattice* oluşturur. Bu ifade oluşturulan ontolojinin sorgulandığı Bölüm 3.4.1'de bir anket sorusuna ait cevap şikkının mantıksal betimlemesinin yer aldığı Tablo 2'de kullanılmaktadır.

Üniversite öğrencilerinin kariyer planlamalarını otomatikleştirmenin ilk adımı olarak hedeflenen çalışmada bilginin simgelenişi için geliştirilen ontoloji modeli iki modülden oluşmaktadır (Şekil 1-a). *Bilgi Tabanı*, anket sorularının cevaplarının kuramsal sınıflandırmaya göre etiketlenmesinden oluşur. Bilgi tabanından üç farklı kariyer geliştirme kuramının birleşimi olarak alınan *Cevap Üçlüsü* Modül 2'nin temel ögesidir. Modül 2, modelin tüm gereksinimleri ile verildiği Şekil 1-b'de özetlenmektedir. Burada, çalışmanın kavramsal modellemesi için ilişkileri betimleyecek kuralların Bilgi Tabanından alınan çözüm üçlüleri cinsinden ifade edildiği ve Protégé editörde OWL<sup>3</sup> dilinde tasarlanarak *Ontoloji Oluşturucunun* elde edildiği görülmektedir.

<sup>2</sup> Open-Source Ontology Editor and Framework for Building Intelligent Systems. <https://protege.stanford.edu>.

<sup>3</sup> Web Ontology Language. <https://www.w3.org/OWL/>.



Şekil 1. (a) Modelinin Temel İşlevleri<sup>4</sup> (b) Kavramsal Modellemenin İşleyişi

Bir öğrencinin herhangi bir anket sorusuna verdiği cevap şıkkı *Değerlendirme* ögesinde bireyin o soruya verdiği cevaptan çıkarılan ve kişiliğini yansıtan özellikleridir. Yapısı gereği kolaylıkla genişletilebilir özelliğine sahip olan kavramsal model herhangi bir sorgulayıcı, örneğin *Hermit Reasoner* seçilerek çalıştırılır ve karşılaştırmalı olarak sonuçların kontrolü gerçekleştirilir. Her bir soru için, kurallara ilişkin özellik ya da öğrenci eklenmesi ya da çıkarılması ile sistem güncellenecektir; eklenen ya da değişen herhangi bir bildirim model içerisinde ilişki olduğu diğer yerlerde de otomatik olarak etkili olacaktır. Ontoloji sorgusunun sonucu farklı amaçlar için yeniden kullanılabilir. Tasarlanan modele <http://zeynepaltan.info/ProjectOWL.owl> üzerinden ontology IRI olarak erişilebilir. Modelin tasarımı RDF (Resource Description Framework) üçlüleri ile *Subject-Predicate-Object* biçiminde tanımlanmıştır<sup>5</sup>. Örnek olarak seçilen bir soru ve cevapları ile ilgili tanımlama ve sorgulamalar Bölüm 3.4.1'de ayrıntılı incelenmektedir.

### 3.3. Anket Soruları ve Cevaplarının Kavramsallaştırılması

Şekil 1'deki *Anketin Düzenlenmesi* modülünün hazırlanmasına 2010'lu yıllarda literatüre girmiş *Kariyer Yapılandırma* kuramı temel alınarak başlanmıştır (Savickas, vd., 2009). Mesleki davranış dinamiklerinin yaşam boyu araştırıldığı bu yaklaşımda kariyer planlamaları bireyin yetkinliklerinin çıkarımından yönetilir. Tasarlanan ontolojinin bireyci ve toplumcu sınıflandırmalarını oluşturan *Kariyer Seçimleri* değerlendirme ölçütü Bölüm 2.1.3 'de açıklandığı gibi *Sistemler Kuramı Çerçevesinden* öğeler içermektedir ve bu da kariyer geliştirme kuramında *Dizgesel Düşünceden* oluşturulmuştur (McMahon & Patton, 2018). Sınırları dışındaki öğelerle etkileşerek (*Sınırsız Kariyer*) açık bir sistemin oluşturulduğu bu çerçevenin parametrelerinin geçmiş, şimdi ve geleceğe ilişkin dağılımları çalışmanın anket soruları ile doğrudan örtüşmektedir. Örneğin ailenin sosyal-ekonomik bir faktör olarak değerlendirildiği parametre (Özlen & Arnaut, 2013) anketin 3. ve 7. sorularının cevap şıklarında yer almaktadır. Öğrencinin kariyer tercihinde ailenin doğal olarak önemli etkisi vardır. Aile ayrıntılı incelendiğinde niceliksel özelliklere ek olarak eğitim durumu, iş ve gelir birlikte ele alınır. Bu niceliksel ölçütler çalışmadaki diğer öznitelik sınıflandırmalarında olduğu gibi ontoloji altyapısında kullanılmamaktadır.

Bilgi tabanının yapılandırıldığı Protégé editörü, anlamsal ağ oluşturmak üzere farklı veri kümeleri kullanılarak sentezleme yapılmasına olanak sağlar. Anket sorularında öğrenme faktörü

<sup>4</sup> Modül 2' deki ifadeler Protégé editörde *Soru* için *Survey*, *Öğrenci* için *Student*, *Cevap Üçlüsü* için *Triple*, *Değerlendirme* için *CareerPlanning* sınıfları ile ifade edilmektedir.

<sup>5</sup> OWL dilinin çatısını oluşturan RDF üçlüsü modelin inşasındaki *Cevap Üçlüsü* (*Triple* sınıfı) ifadesinden farklıdır; RDF betimlemesindeki *triple*, ilgili sınıf ismi olan *Triple* ile sadece isim benzerliği taşımaktadır.

değerlendirilmesine rağmen eğitimin etkisine açık olarak yer verilmemiştir. Oysa yükseköğretimde aktif öğrenmenin önemi ile birlikte öğrenci üzerindeki etkisi önemlidir ve prototip niteliğindeki bu ontolojiye sonraki çalışmalarda eklenecek değerlendirme ölçütlerindedir. Üniversitenin Yazılım Mühendisliği Bölümü öğrencilerine yöneltilen 15 sorudan oluşan anketin soru ve cevaplarına kuramsal çalışmalar kapsamında karar verilerek, yaklaşık 100 öğrenciden alınan cevapların yarısı prototip bir ontoloji tasarımı için modele aktarılmıştır (Ek 1). Anketler iki farklı dönemde, İstanbul Beykent Üniversitesi Etik Kurul Raporuna istinaden farklı öğrenci grupları ile yapılmıştır. Böylece kariyer geliştirme kuramı önermelerine dayanan ampirik bulgular, kariyer planlaması uygulamasının altyapısını oluşturmaktadır.

Anket sorularının değerlendirme ölçütleri hazırlanırken Bölüm 2.1’de kariyer planlamasına yön veren üç farklı sınıflandırma olarak açıklanan Kariyer Uyumu (CA - *CareerAdaptability*), Çalışan Refahı (EWB - *EmployeeWellBeing*) ve Kariyer Seçimleri (CC - *CareerChoices*) dizilişinde CA-EWB-CC üçlülerini oluşturarak birlikte değerlendirilmektedir. Tablo 1’in birinci sütunundaki ilk öğeler Bölüm 2.1.1’de açıklanmış olan *con* (concern), *cof* (confidence), *cont* (control) ve *cur* (curiosity) bildirimleridir. Tablo 1’in ilk sütunundaki ikinci öğeler ise *Çalışan Refahıyla* ilgili Bölüm 2.1.2’deki açıklamalar doğrultusunda *emo* (emotional), *fin* (financial), *int* (intellectual), *occ* (occupational), *soc* (social), *spr* (spiritual) olarak gruplandırılmıştır. *Cevap Üçlüsünün Kariyer Seçimi* kuramına ait son öğesi için Bölüm 2.1.3’deki *ind* (individual) ve *col* (collectivism) alt sınıflandırmaları tanımlanmıştır. Böylece anket sorularının cevapları oluşturulan bu kuramsal üçlü bağlamında değerlendirilecek, elde edilen çıkarım yorumlanabilecek ve kişinin kariyerindeki rolleri ile ilgili tahmine ilişkin sonuçlar elde edilebilecektir. Sisteme yeni bilgi eklendikçe modelin genişletilebilme özelliği ile mevcut yapıda değişim gerekmecektir.

### 3.4. Ontolojinin Oluşturulması

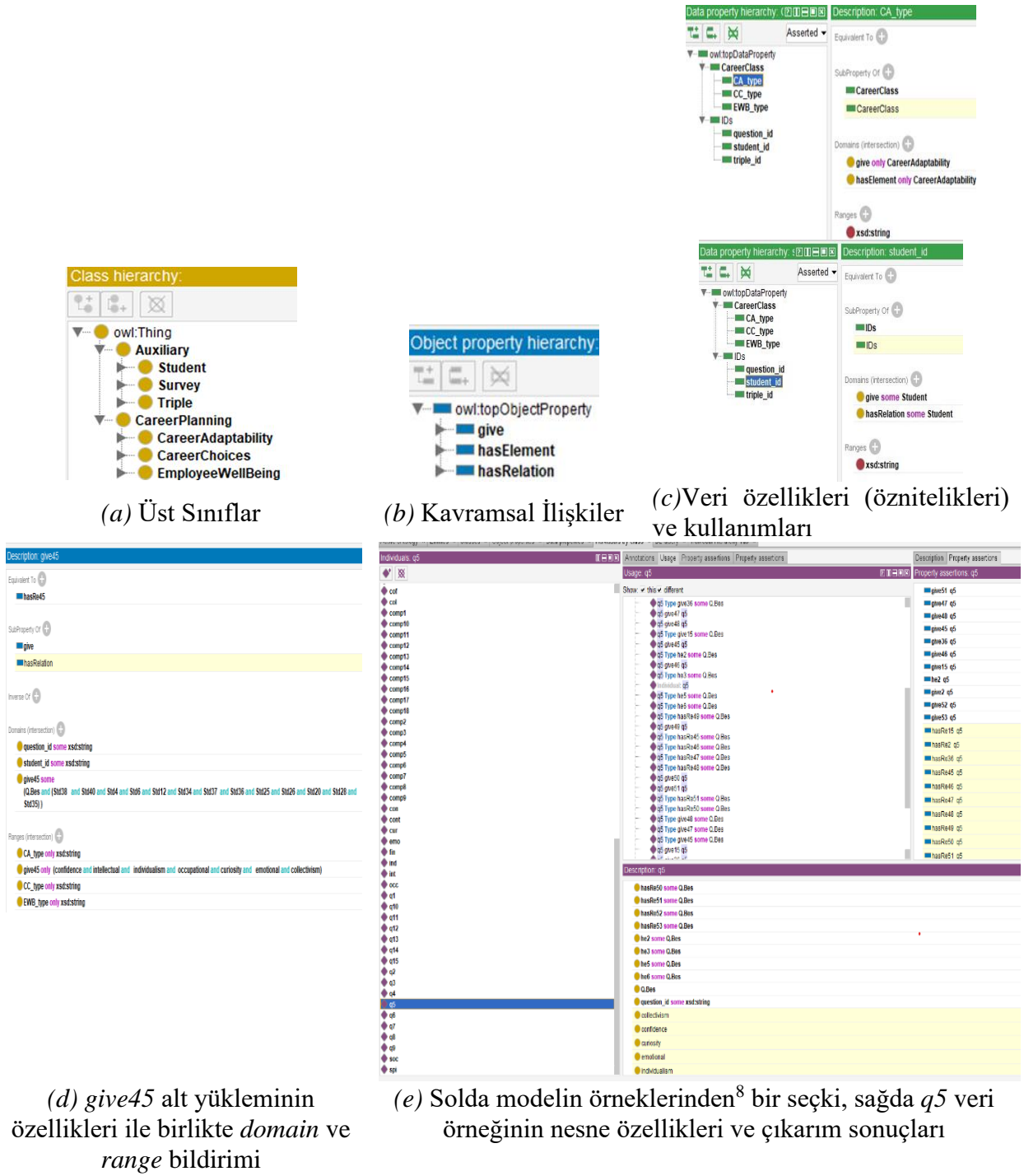
Çalışma öğrencilerin kariyer planlamalarına yönelik bir araştırma olduğu için *class hierarchy* ile tanımlanan bir alan ontolojisi tasarımı yapılmaktadır. Kavramlar arasındaki ilişkilerin özellikleri ve bunların öznitelikleri Protégé ortamında *object property* ve *data property* olarak adlandırılır. Örnekler (*individuals*), her bir alt sınıfı ya da bilgi tabanını tek tek ilişkileriyle tanımlamak için oluşturulur. Şekil 2’de ontolojiye ait her bir öğe üst düzey betimlemeleri ile verilmektedir. Birlikte değerlendirilen üç temel kariyer planlama kategorisine ait üst sınıf tanımlamaları *CareerAdaptability*, *CarierChoices*, *EmployeeWellBeing*, bunların ilişkilendirildiği öğrenciler sınıfı *Student*, anket soruları sınıfı *Survey* ve cevap şıklarına karşılık gelen *Triple* cevap üçlüsü sınıfı Protégé editörünün *class hierarchy* formunda görüntülenmektedir (Şekil 2(a)).

Sınıflar arası ilişkilerin tanımlandığı yüklemelere (*predicates*) ait üst sınıf gösterimleri *object property hierarchy* olarak Şekil 2(b)’dedir.

*CareerPlanning* sınıfının özniteliklerinden *CA\_type* veri tipi bildiriminin bir *data property hierarchy* öğesi olarak *give* ve *hasElement* yüklemeleriyle *range property* oluşturduğu Şekil 2(c)’de görülebilir. Şekil 2(c)’deki bu simgeleme Betimleme Mantığı ile  $\forall give.CareerAdaptability$  ve  $\forall hasElement.CareerAdaptability$ <sup>6</sup> formunda ifade edilir. Benzer şekilde *Student* sınıfının özniteliği *student\_id* veri tipi *give* ve *hasRelation* yüklemeleri ile *domain property* oluşturarak  $\exists give.Student$  ve  $\exists hasRelation.Student$ <sup>7</sup> mantıksal ifadelerini verir.

<sup>6</sup>  $\forall Objectproperty.Class$  (value restriction) betimlemesinin OWL ile genel ifadesi: *ObjectAllVales From (ObjectProperty Class)*

<sup>7</sup>  $\exists Objectproperty.Class$  (existential restriction) betimlemesinin OWL ile genel ifadesi: *ObjectSomeValuesFrom (Object Property Class)*



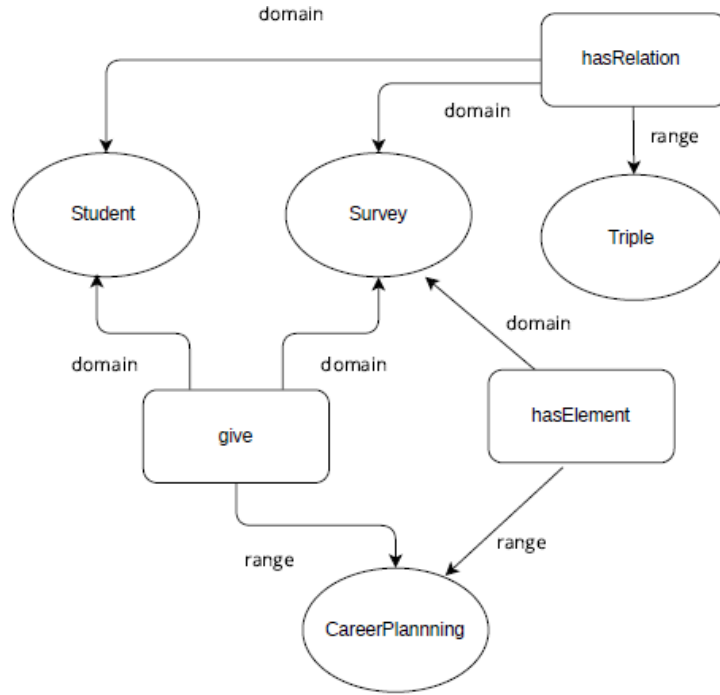
Şekil 2. Problemin Kavramsal Tasarımının Protégé Ortamında Adım Adım Oluşturulması

Şekil 2(d)'de *Object Property give45* yüklemi 5. sorunun cevabında hangi öğrencilerin çoklu şık işaretlemesi yaptıklarını *Domains* bildirimleriyle göstermektedir. *give45*, öğrencilerin 5.sorunun cevabında tüm şıkları işaretledikleri yüklemidir (Ek 1). Anketin hazırlanmasında ayırt edici olmaya özellikle dikkat edilmesine ve böylesi bir cevap tercihi beklenmemesine rağmen öğrencinin farkındalık düzeyi istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. *give45* yüklemine 5.soruyu tam olarak karşılayan bir cevap üretmemesine rağmen, Bölüm 2'de incelendiği şekli ile kariyer planlama kuramları ile yorumlanması mümkündür. Şekil 2(d)'deki *Ranges* bildirimi, *CareerChoices* sınıfının hem *individualism* hem de *collectivism* alt sınıflarının içerildiği duruma bir örnektir. Soruları dikkatle cevaplayan öğrencilerde bu yüklem belirtiği sonuçla

<sup>8</sup> Betimleme mantığı ile ifadesi: *individuals*



karşılaşılacaktır; ama *give45* yüklemine çıkarımları, bireyin özelliklerinin incelenmesinde aykırı bir sonuç doğurmayacaktır; zira Holland kişilik tiplerine ait çalışmalarda farklı özelliklerin birlikte değerlendirildiği örnekler Bölüm 3.5’de anlatılmaktadır.



Şekil 3. Ontoloji Modelinin Temel Yapısı

Tablo 1. Cevap Üçlüleri, Sınıfları ve Örnekleri

Cevap Üçlüsü	Triple sınıfının Alt Sınıfları	Altsınıfların Örnekleri
cof-soc-col	triple1	comp1
cof-int -ind	triple2	comp2
cof-occ-ind	triple3	comp3
cur-int-ind	triple4	comp4
cur-occ-ind	triple5	comp5
cur-emo-col	triple6	comp6
con-soc-col	triple7	comp7
con-int-ind	triple8	comp8
con-occ-ind	triple9	comp9
con-emo-col	triple10	comp10
con-spr -ind	triple11	comp11
cont-int-ind	triple12	comp12
cont-occ-ind	triple13	comp13
cont-fin-col	triple14	comp14
cont-spr-ind	triple15	comp15
cur-spr-ind	triple16	comp16
cont-fin-ind	triple17	comp17
con-spr-col	triple18	comp18

Şekil 2(e)'de  $Q.Bes \subset Survey$  olmak üzere 5. sorunun örneği (*individual*)  $q5$  için Protégé tarafından çıkarılan tüm bildirimler görülmektedir. Bunlar, Şekil 2(b)'deki üç yüklemine (*object properties*) hangi alt bildirimleriyle tanımlandığının ve sınıf hiyerarşisine ait çıkarım sonuçlarının (inferred) ifadesidir (sarı renkliler).

Şekil 2'deki Protégé editöre ait tüm gösterimler, anket sorularına cevapların betimlemelerini vermek üzere altyapısı Şekil 3'de verilmiş olan ontoloji modeline göre tasarlanmıştır. Sorulara cevapların kavramsal çözümlerini veren farklı cevap üçlülerine ait alt sınıflar örnekleriyle (*individuals*) birlikte Tablo 1' de verilmektedir. Cevap üçlülerini belirlemede kullanılan kuramsal bilgi, Bölüm 2.1'de ayrıntılı anlatılmıştır. Tablodaki 18 farklı cevap üçlüsünün sayısı ankete yeni sorular eklendikçe CA-EWB-CC birleşimindeki farklı üçlemeler nedeni ile artacaktır. Benzer şekilde soruları yeni cevaplayacak öğrenciler şıkları farklı birleşimlerle seçebilir; böylece *object property* oluşturan alt yüklemelerin sayıları da artar. Örneğin üç farklı cevap şıkkı olan bir soru herhangi tek bir şık işaretlenerek, iki şık birlikte işaretlenerek ya da tüm şıklar işaretlenerek cevaplanabilir. Mevcut derlemde soru şıklarının tüm birleşimleri cevap olarak işaretlenmediği için, olası cevap üçlülerinin tümü bulunmamaktadır.

### 3.4.1. Sorgulama çıkarımı örneği

5. soruya verilen çoklu cevap örneği ile ilgili *DL Query* sonucu ve *Betimleme Mantığı* ile simgelenişi Tablo 2'de görülebilir. Tasarlanan ontolojiye ait *RDF* (Resource Description Framework) ifadesi *OWL* ile oluşturulmuştur. Farklı ortamlardan alınan *OWL* dilinde oluşturulmuş veri tabanlarının tasarlanan ontoloji modeli ile ortak *SPARQL* sorgularından daha kapsamlı çıkarımlar elde edilmesi mümkündür. Bunun için *Ontop* sistemi kullanılabilir. Fakat bu çalışmanın çıkarımları Şekil 4'de incelenen örnek üzerinde verildiği gibi, *DL Query* sonuçları ile yorumlanmakta ve Protégé editörde örnekler şeklinde görüntülenmektedir. Çalışmanın bu aşamasında farklı ortamlardan herhangi bir *Anlamsal Ağ* veri tabanı ile ortak sorgulama yapılmadığı için bir *OBDA* (Ontology-Based Data Access) sistemi kullanılmamaktadır.

Tablo 2. Anketin 5. Sorusunun Cevabı Olarak Tüm Seçeneklerin İşaretlendiği Durumun Mantıksal Betimlemelerle<sup>9</sup> İfadesi

Object Property	Protege Description	TBox Manchester Syntax	ABox Manchester Syntax	Concept Assertion
give45 $\subseteq$ give	$\exists \text{give45} \text{ some } Q.Bes$	$\exists \text{give45}.T \subseteq Q.Bes$	$T \subseteq \forall \text{give45}.CareerPlanning$	give45(col, cof, cur, emo, ind, int, occ)
hasRe45 $\subseteq$ hasRelation	$\exists \text{hasRe45} \text{ some } Q.Bes$	$\exists \text{hasRe45}.T \subseteq Q.Bes$	$T \subseteq \forall \text{hasRe45}.triple2$ $T \subseteq \forall \text{hasRe45}.triple3$ $T \subseteq \forall \text{hasRe45}.triple5$ $T \subseteq \forall \text{hasRe45}.triple6$	hasRe45(comp2, comp3, comp5, comp6)
he2 $\subseteq$ hasElement he3 $\subseteq$ hasElement he5 $\subseteq$ hasElement he6 $\subseteq$ hasElement	$\exists \text{he2} \text{ some } Q.Bes$ $\exists \text{he3} \text{ some } Q.Bes$ $\exists \text{he5} \text{ some } Q.Bes$ $\exists \text{he6} \text{ some } Q.Bes$	$\exists \text{he2}.T \subseteq Q.Bes$ $\exists \text{he3}.T \subseteq Q.Bes$ $\exists \text{he5}.T \subseteq Q.Bes$ $\exists \text{he6}.T \subseteq Q.Bes$	$T \subseteq \forall \text{he2}.CareerPlanning$ , $T \subseteq \forall \text{he3}.CareerPlanning$ $T \subseteq \forall \text{he5}.CareerPlanning$ $T \subseteq \forall \text{he6}.CareerPlanning$	he2(cof, int, ind) he3(cof, occ, ind) he5(cur, occ, ind) he6(cur, emo, col)

Şekil 4(a)'da *give* yüklemi bir *ObjectProperty* olarak genel bildirim ile yani üst düzeyde sorgulanmaktadır. Aynı sorgu *give* yerine *give45* yüklemi ile yapılırsa, bu yüklem özelliğinden aynı sonuç çıkarılacaktır. Çünkü Şekil 4(a)'daki sorgunun yüklemi *give*, 5. sorunun her bir cevap şıkkına ait çözüm üçlülerinin örneklerini çıkarırken, *give45* yüklemi ile yapılan sorgu 5. soruda

<sup>9</sup> Betimleme Mantığı bilgi tabanı, sınıf seviyesindeki bilgiyi TBox terminolojisinde içerirken, data (örnekler) ABox bildirimleri ile beyan edilir; otomatik çıkarım sonunda kullanıcı uygulamaları ya da diğer veri tabanları ile karşılıklı etkileşim gerçekleşir.

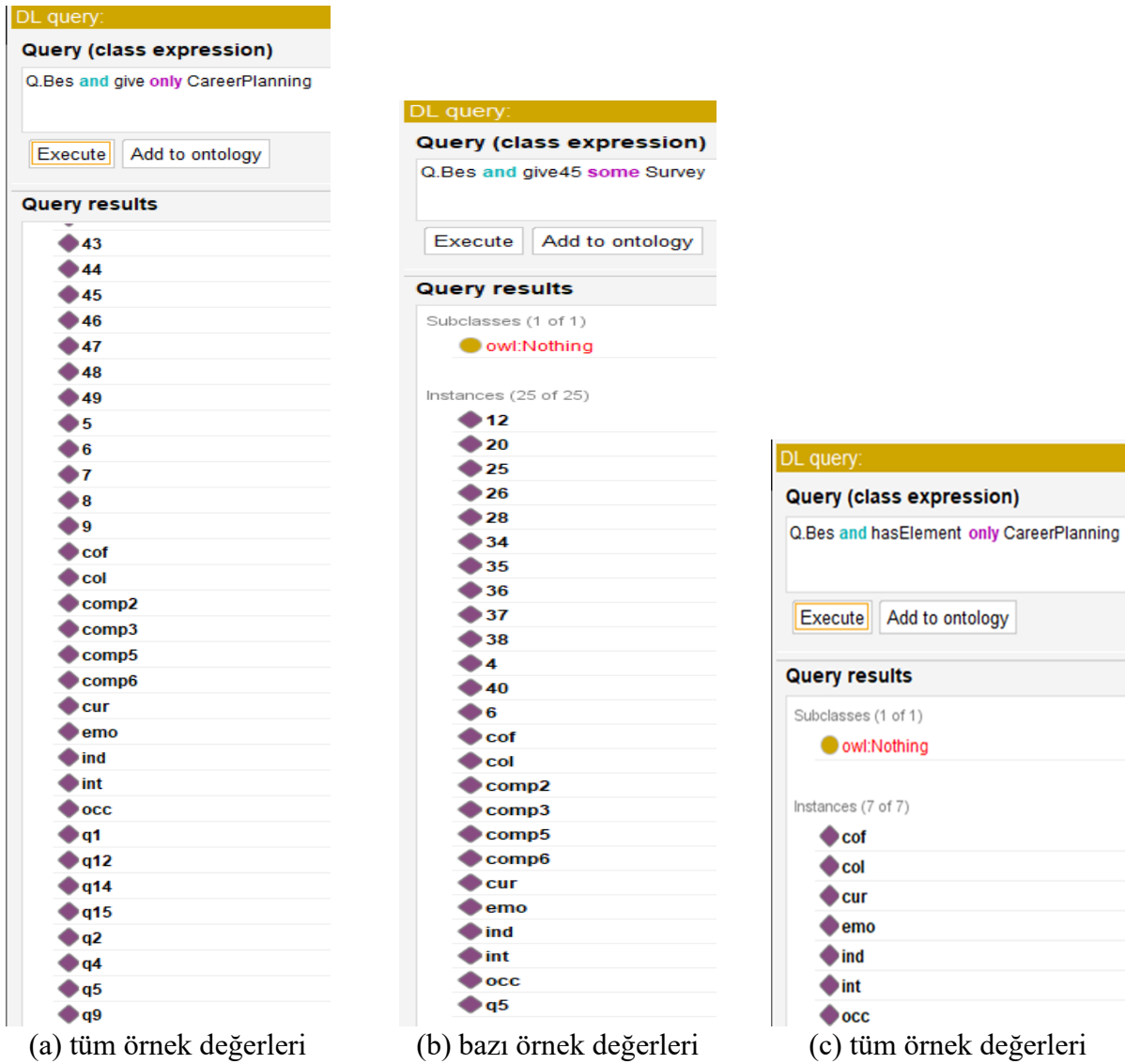
dört şikkın birlikte cevaplandığı çözüm üçlülerine ait örnekleri, yani *give* yüklemiyle yapılan sorgunun sonucunu döndürür. Her iki sorgu cevap şıkları cinsinden değerlendirildiğinde, dört farklı çözüm üçlüsünden bir ya da birkaçının ankette yer aldığı diğer sorular da aynı olacaktır. Bu, Şekil 3'e göre DL sentaksının modelde kullanıldığı şekilde Manchester OWL ifadesiyle şöyle açıklanabilir: Mantıksal betimleme  $\forall give.CareerPlanning, give\ only\ CareerPlanning$  (ve *give45 only CareerPlanning*) betimlemelerinden tüm değerleri çıkarsamayı sağlar. Bu sorgulamada *Survey* cinsinden tüm değerler, 5. soru dışında 1., 2., 4., 9., 12., 14. ve 15. sorularına sıra ile q1, q2, q4, q9, q12, q14 ve q15 örnekleri olarak karşılık gelir. Benzer şekilde *Student* sınıfının örnekleri, 5. soru herkes tarafından cevaplandığı için tüm öğrencilerdir; ama şekilde öğrencilerden bazıları görüntülenmektedir. *give only CareerPlanning* OWL Manchester sentaksının *Survey* sınıfı ile ilişkisinden 5. sorunun cevap şıklarının *comp2, comp3, comp5 ve comp6* örnekleri olduğu (Tablo 1), yani sorunun cevabının dört şıklı olduğu çıkarılmaktadır. Şekil 4(a) betimlemesi son olarak, diğer çıkarımlarla birlikte 5. soru kısıtlı olarak *give* (ya da *give45*) yüklemine ait tüm cevap üçlülerini çıkarsayacaktır. Bunlar da *col, cof, cur, emo, ind, int, occ* örnekleridir.

Şekil 4(b)'de *Survey* sınıfı bağlamında yapılan DL sorgusu  $\exists give45.Survey$  ile, *give45* yüklemine 5.soru kısıtlı olarak sonuçları döndürülür. Dört şikkı birden işaretleyen 13 öğrenci 4,6,12,20,25,26,28,34,35,36,37,38,40 olarak etiketlenmiş örneklerdir (individuals). *Survey* sınıfının q5 örneğine (5.soru) ait çözüm üçlülerinin *comp2, comp3, comp5, comp6* örnekleri ile dört şıklı bir çözüm sonucu elde edilmekte; benzer şekilde bunların hangi kariyer özellikleri olduğu da bu cevap üçlülerinin birleşimi olarak *col, cof, cur, emo, ind, int, occ* örnekleri ile çıkarılmaktadır. Çünkü *give45 some Survey* bildiriminden örneğin bazı değerleri, yani ilgili değerleri döndürülmektedir.

Şekil 4 (c)'de ise,  $\forall hasElement.CareerPlanning$  DL sentaksı 5. soru kısıtlamasıyla dört farklı cevap şikkına ait çözüm örneklerinin birleşimini, yani tüm değerlerini vermektedir.

*hasElement only CareerPlanning* bildiriminden alınan değerler Şekil 3'ün yapısı gereği sadece *col, cof, cur, emo, ind, int, occ* örnekleridir.

Sonuç olarak Tablo 2'deki *TBox* ve *ABox* bildirimleri ile eşleştirilmiş sonuç örnekleri Şekil 4'de çıkarılmaktadır.



Şekil 4. Anketin 5. Sorusunun Farklı Sorgulamalarına Ait Sonuçlar

### 3.5. Tasarlanan Modelin Holland Tipolojisi ile İfadesi

*Kariyer Seçimi* sınıflandırmasındaki *toplumcu* tiplmesi başkalarına yardım eden, grup çalışması yapan ve insan etkileşimlerine değer veren kişilikler olarak Holland sınıflandırmasının *Sosyal* insanlarıdır. Tablo 3’de bu sınıflandırma, soruların cevap şıklarıyla birlikte *collectivism* tiplmesi ve *social* refah özneliği birlikteliğinde görülebilir. Aslında Tablo 3’de görünen tüm sınıflandırma sonuçları konunun uzmanları tarafından belirlenmemiştir; sadece cevaplar gruplandırıldığında gerçek tahminlerin yapılabileceği bir çözüm önerisi sunulmaktadır. Holland’ın *Sosyal* insan tipinin *Girişimci* ve *Sanatçı* tipolojisindeki insanlarla ortak özellikleri vardır. Tablo 3’deki *emotional-collectivism* ikilisine ait cevap şıkları Holland’ın bu ortak tiplemesinin bir örneğidir.

*Kariyer Seçimi* sınıflandırmasının *bireyci* tiplmesi ise insanlarla ortak çalışmalar yapmaktansa teknoloji alanında kariyeri ile ilgili yapabileceklerine eğilimli birey olarak Holland’ın *Gerçekçi* tipolojisini vurgular. Tablo3’de bu sınıflandırma, *individualism* tiplmesi ve *intellectual* ya da *occupational* refah özneliği birlikteliğindeki soruların cevaplarıdır. Holland’ın *Geleneksel* kişilik tiplmesi için kendisinden istenilen kurallar doğrultusunda rutin görevler yerine getirildiğinde parasal karşılığın alınabilmesi yeterlidir. *Geleneksel* kişi, *Gerçekçi* tipolojisindeki insanlarla ortak özellikler göstererek tutarlılık oluşturur ve *Kariyer Seçimi* sınıflandırmasının bireyci grubuna ait olur. Tiplerin birbirleri ile tutarlı olduğu örnekler varken, *Sosyal–Gerçekçi* gibi

birbiri ile tutarsız ilgi ve becerilere sahip örnekler de olabilir. Tablo 3’de *financial* isimli refah özneliliğinin hem *collectivism* hem de *individualism* tiplerini için örnek oluşturması, Holland’ın gerek tutarlı gerekse tutarsız ilgi-beceri analizlerine örnek oluşturur. Tutarsız tipler kendilerine özel bir yaşam alanı tanımlamış olabilirler. Holland kavramsallaştırmasında *uyum*, kişinin çevresiyle ilişkisinin ölçüsüdür. Örneğin *Sosyal-Girişimci* bir tip çevresi ile uyumlu olurken, *Sosyal- Gerçekçi* bir çevre ile uyumsuz olacaktır (Sharf, 2017).

Kariyer planlamasında kişinin çevresi ile uyumlu bir ortamda çalışmasının önemi Holland tipiyle uyumlu bir çevrenin yani meslek kolunun belirlenmesidir. Çalışmada değerlendirilen bazı öğrencilerin Holland sınıflandırmasındaki birden fazla tipe ait ilgi ve yeteneklere sahip oldukları, bazılarının ise ayrılmış birey özelliklerine sahip oldukları Tablo 3 ‘de görülmektedir. Örneğin ayrılmış birey olarak *Sosyal* kişilik tipolojisi alındığında, bu birey *Gerçekçi ve Geleneksel* ilgi ve yeteneklerden farklılıklar gösterecektir. Tasarlanan modelin değerlendirmelerinde açık olarak görülmesi bile, anket soruları ve cevapları hazırlanırken bireyler ve iş çevreleriyle ilişkilerde *uyum, ayrışma ve tutarlılık* kavramlarına dikkat edilmiştir. Ayrıca öğrenciler arasında farklı sınıflandırma gruplarına ilgisi olan kişilikler olabilir. Bu yapıların tasarlanan ontoloji kapsamında değerlendirilmesi çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

Özet olarak, bireyin ilgi ve yeteneklerinin incelendiği Holland kişilik kuramı tasarlanan ontolojinin üçlülerinde doğrudan kullanılmamaktadır. Çalışmada Holland’ın altı farklı kişiliği tanımladığı bilimsel sınıflandırma yerine Savickas’ın *Kariyer Yapılandırma* kuramı üzerinden bir çözümleme oluşturulmaktadır. Bu tercihin nedeni mesleki kişilik sınıflandırması, yani Holland kuramı kişinin seçeceği kariyeri belirlemeye yönelik iken, ontoloji modelinin üç çözüm parametresinden ilki olan *Kariyer Uyumu* kişinin okuldan iş yaşamına geçişteki değişimlere uyum sağlama fırsatlarını değerlendirebilmesinin ölçüsüdür; diğer bir ifade ile bireye özel çalışma alanının tahmin edilmesine yöneliktir. Buradan da kariyerin bireyin kurduğu bir yapı olduğu ve bir *Kariyer Yapılandırma* kuramı olarak çalışma yaşamı boyunca değişimlere uyumunun izleneceği sonucu çıkarılabilir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgi toplumunun dijital dönüşümü olarak adlandırılan Toplum 5.0, öğrencilerin kariyer planlamalarına yönelik olarak geliştirilen bu çalışmanın ontolojik altyapısı *CareerPlanning* sınıflandırması ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Dijitalleşmenin her alanda görüldüğü günümüzde Toplum 5.0 ile kapasitesi sürekli artan büyük verinin bireye fayda ve geri bildirim üretmesi hedeflenir. Güvenli akıllı teknolojilerin yaşamı sadece işlevsel olarak kolaylaştırması yeterli olmayıp bireyin duygusal ve bireysel ihtiyaçlarına da cevap verebilmesi önemlidir. Teknolojiden maksimum ölçüde yararlanmayı hedefleyen Endüstri 4.0’ın, çalışanın ve toplumun mutluluğuna herhangi bir pozitif etkisi yoktur. Şirketlerin verimlilik ve karlılığa odaklanan hedefleri, dijitalleşmenin yaygınlaşması ile ekonomik faydanın ön plana çıkarılmasına dönüşmüştür. Son yıllarda otonom sistemlere talebin artışı çalışma alanlarındaki değişime açık bir örnektir. Bu bağlamda bilişim alanında eğitim gören üniversite öğrencileri kariyer planlamalarını sahip oldukları farklı yeti ve becerilerine göre yaptıklarında iş yaşamlarında daha mutlu, buradan da daha başarılı olacaklardır. Toplum 5.0 kavramı, hem teknoloji çalışanı hem de kullanıcısı bakış açısından kariyer gelişiminin kuramsal çalışmalarıyla eşleştirilebilir. Diğer taraftan Tablo 3, anket sorularına verilen tüm cevapların cevap üçlülere cinsinden dağılımını göstermektedir. Bu tablo, DL Query sorgulamalarının yorumunu kolaylaştırmaktadır. Soru ifadelerine uygun olarak hazırlanmış anketle ilişkilendirilen kuramsal sınıflandırmalar yani çözüm üçlülere, mevcut öğrenci görüntüsünün çalışan bakış açısından Toplum 5.0’a olası katkılarını yansıtmaktadır.

Anket çalışmasında kariyer gelişiminde *Çalışan Refahı* sınıflandırmasına ait özellikler insanın merkeze alınması ile birlikte değişen iş dünyası ve yeni çalışma düzenine ilişkin sorularla değerlendirilmiştir. Anketin 7. sorusunun v şıkkı öncelikli olmak üzere 3. sorunun ii. ve v. şıkları ile 11. sorunun ii şıkkı çalışan refahına ilişkin kararlar içerir. Tablo 3’de *Kariyer Uyumu* ölçütlerine göre sınıflandırma yapıldığı için bu cevaplar farklı boyut ve özellikte görülmektedir. Buradan sınırlı sayıda sorunun kuramsal nitelikleri bağlamındaki cevap şıklarından geniş kapsamlı çıkarımlar elde edilebilecek; tanımlanan ontoloji modelinin farklı sorgularından çıkarılacak sonuçlar çok yönlü olarak yorumlanabilecektir. Diğer taraftan farklı nedenlerle geçilen çevrimiçi zorunlu eğitim-öğretim dönemleri süresince<sup>10</sup> öğrencinin öğrenmeyi ne ölçüde gerçekleştirebildiği ve bu şekilde öğretimini kariyerine etkisi anketin son iki sorusunda (Soru 14 ve Soru 15) değerlendirilmiştir. Bunun, tümü için olmasa bile öğrencilerin büyük bir çoğunluğunun kariyer planlamalarında olumsuz etkisi olan bir değerlendirme ölçütü olduğu unutulmamalıdır.

Soru 1-ii, 1-iii (okul projeleri) ve 3-iii ile birlikte 6.sorunun cevapları, Bölüm 2.2 ‘de açıklanan eğitim programlarının güncelliğinin bireyin kariyerini yönlendirmedeki önemi doğrultusunda hazırlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde güncel eğitim programlarındaki derslerin doğrudan bireyin gelişimi üzerindeki etkilerine verilmiş olan örnekler bu değerlendirmeye önemli bir ölçüttür. Yine Bölüm 2.2’de kariyer yönlendirmelerinde zihinsel becerilerin önemi üç farklı yaklaşım ile açıklanmıştır. Bu yaklaşımlardan biri anket sorularındaki, dolayısıyla tasarlanan ontoloji modelindeki karşılığı *Sistemsel Düşünme* olarak öz-yeterliliğin farklı bakış açılarından değerlendirildiği 5. soru ve cevaplarında, soru 7-iii, 7-v şıklarında görülebilir. Kariyer sistemlerinde zihinsel becerilerin ikinci etmeni girişimciliğe ilişkin ölçümler soru 1-iii (bireysel olarak), soru 1-iv, soru 5-iv, 12. sorunun iv. ve v. şıklarıdır; üçüncü etmen çeviklik ise 9. sorunun iv ve v şıkları, soru 10-ii ‘de açık olarak verilmektedir. Benzeri eşleştirmelerin 15 soru ölçeğinde artırılması mümkündür.

Sonuç olarak özetlemek gerekirse, bir problemin kavramsal çözümlemesi olan ontoloji çalışmalarının temelinde belli bir alana yönelik bilginin ortak kullanımı yatar. Böylece web üzerindeki bilgi alanının farklı çalışmalarla birlikteliği ve ortak işleyişleri biçimsel semantik oluşturur. Bu bağlamda tasarlanan ontoloji modeli çalışma alanına yönelik gelecek çalışmalara ortak bilgi oluşturmada bir ilktir. Modelde kullanabilecek Türkçe bir ontoloji bulunamadığından çalışmanın *Anlamsal Ağ* sadece tasarlanan modelden oluşmaktadır. Aslında herhangi bir ontolojiye eklenecek farklı bir ağın aynı dilden olması zorunluluğu yoktur. Çalışmanın temel amacının yeni bir ontoloji tasarımı olması ve de farklı ağ birliktelikleri kullanılacaksa bağlantının doğru yapılandırılmasının önemi nedeni ile dış ortamlardan bilginin kullanılması bu çalışmanın dışında bırakılmıştır.

<sup>10</sup> Anketin cevapları pandemi ile ilgili dönemi içerdiği için Ek 1’de Soru 14 ve Soru 15 ifadesi değiştirilmemiştir.

Tablo 3. Kariyer uyumu boyutlarının çalışan refahı ve kariyer seçimi sınıflandırması<sup>11</sup>

Kariyer Uyumu Boyutları	Ayrıntılı İfadesi	Sorunun Cevap Şıklı	Çalışan Refahı Özneliği	Kariyer Seçimi Kişilik Tipi
Confidence (cof) güven	Öğrenmenin destekle sağlanması Yapabileceğine inanmak	Soru1-i Soru1-ii Soru2-ii Soru9-i Soru12-i Soru15-v	social (soc) intellectual (int) occupational (occ)	collectivism (col) individualism (ind)
	Ölçütün engel oluşturmaması	Soru8-ii Soru13-iv Soru4-ii Soru4-i Soru5-i Soru 14-v	social (soc)  intellectual (int)	collectivism (col)  individualism (ind)
	Ölçütün gerçekleştirilebilmesi	Soru5-i Soru5-ii	occupational (occ)	
Curiosity (cur) merak	Fırsatların araştırılabilmesi ve değerlendirilmesi	Soru1-iii Soru9-iii Soru12-iii	occupational (occ)	individualism (ind)
	Yeni fırsatların keşfedilmesi	Soru8-iii Soru3-v Soru9-v Soru12-v	emotional (emo) spiritual (spr)	collectivism (col) individualism (ind)
	Derslerin farklı arayışlara etkisi ile alanın keşfi	Soru14-iv Soru15-iv Soru4-v Soru6-i Soru8-iv Soru5-iii	intellectual (int) occupational (occ) emotional (emo) intellectual (int)	collectivism (col) individualism (ind)
	Girişimciliğin etkisi	Soru5-iv	occupational (occ) emotional (emo)	collectivism (col)
concern (con) düşüncelilik	Gelecek planlarını uygulayabilme	Soru1-iv Soru2-i Soru7-iii	occupational (occ)	individualism (ind)
	Eğitim kaynaklı ya da kariyer odaklı yapabileceklerinin farkındalığı	Soru3-ii Soru14-i Soru3-iii Soru14-ii Soru4-iii	social (soc) spiritual (spr)  intellectual (int)	collectivism (col) individualism (ind)
	Yaşam koşullarının etkisi	Soru4-iv Soru 6-iv	social (soc) occupational (occ)	collectivism (col) individualism (ind)
	Gelecekle ilgili düşünceli olma	Soru13-i Soru13-iii Soru7-ii	emotional (emo)	collectivism (col)
	Çevredekilerin beklentileri Çevredekilerin etkileri Çalışma alanı ile ilgili gözlem	Soru7-iv Soru8-v Soru12-ii Soru9-ii Soru15-i Soru15-ii	spiritual (spr) emotional (emo)  occupational (occ) spiritual (spr) intellectual (int)	individualism (ind)
	Çaresizlikten doğan endişe			
control (cont)	Yapılabileceklerin sorumluluğu Bağlamsal faktörlerin etkisi	Soru2-iii Soru3-i Soru13-ii Soru14-iii	occupational (occ) financial (fin)  intellectual (int)	individualism (ind) collectivism (col)
	Kendi ile ilgili kararlar alma	Soru3-iv Soru7-v	spiritual (spr)	individualism (ind)

<sup>11</sup> Sütunlardaki boş alanlar ilgili sınıflandırmanın devam ettiğini göstermektedir.

	Kendine güvenme	Soru9-iv Soru6-ii Soru15-iii Soru8-iv Soru6-iii Soru7-vi Soru8-i	occupational (occ)  intellectual (int)  occupational (occ)
	Yaşamak için ayakta durmak	Soru7-i Soru10-i Soru11-i Soru10-ii	financial (fin) occupational (occ)  intellectual (int)
	Kararında sorumluluk alabilmek	Soru11-ii Soru12-iv	 spiritual (spr)

### Teşekkür

Bu çalışma, 2020-21-BAP-03 nolu “Eğitimsel Veri Madenciliği Yöntemleri ile Yazılım Mühendisliği Lisans Öğrencilerinin Kariyer Yönelimlerinin Tahmini Sonuçları” isimli çalışma kapsamında İstanbul Beykent Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Etik Kurul Onay Beyanı

Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu 27.10.2020 tarihli toplantısında “Eğitimsel Veri Madenciliği Yöntemleri ile Yazılım Mühendisliği Lisans Öğrencilerinin Kariyer Yönelimlerinin Tahmini Sonuçları” isimli araştırmanın etik yönden uygun olduğuna karar vermiştir.

## KAYNAKÇA

- Akosah-Twumasi, P., Emeto, T.I, Lindsay, D., Tsey, K.A. & Malau-Aduli, B.S. (2018). A systematic review of factors that influence youths career choices—the role of culture. *Frontiers in Education*, 3. <https://doi.org/10.3389/educ.2018.00058>
- Aoun, J.E. (2017). Robot-proof: Higher education in the age of artificial intelligence. *MIT Press*.
- Aycan, Z. & Fikret-Pasa, S. (2003). Career choices, job selection criteria, and leadership preferences in a transitional nation: The case of Turkey. *Journal of Career Development*, 30(2), 129-144. <https://doi.org/10.1177/089484530303000203>.
- Caligiuri, P. (2013). Cultural agility: Building a pipeline of successful global professionals. *John Wiley & Sons*.
- Carayannis, E.G. & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The Futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as Driving Forces of Future Universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 13, 3445–3471. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00854-2>.
- Carolan, S., Harris, P.R. & Cavanagh, K. (2017). Improving employee well-being and effectiveness: Systematic review and meta-analysis of web-based psychological interventions delivered in the workplace. *Journal Medical Internet Research*, 19(7). doi: 10.2196/jmir.7583.



- Carnegie Mellon University. (2023). Eberly center teaching excellence & educational innovation. <https://www.cmu.edu/teaching/solveproblem/strat-criticalthinking/index.html> adresinden 26 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Dascalu, M.I., Marin, I., Nemoianu, I.V., Puskás, I.F. & Hang, A. (2022). An ontology for educational and career profiling based on the Romanian occupation classification framework: Description and scenarios of utilization. *15th annual International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2022) Proceedings*, 7386-7395.
- Dancy, R. (1975). On some of Aristotle's first thoughts about substances. *The Philosophical Review*, 84(3), 338-373.
- European Parliament Council (2008). Recommendation of the European Parliament and of the Council of 23 April 2008 on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning. *Office Journal of European Union*, 51(111).
- European Parliament Council (2017). European Qualifications Framework for lifelong learning and repealing the recommendation of the European Parliament and of the Council of 23 April 2008 on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning. *Official Journal of the European Union*, 189(15).
- Erdoğan Zorver, C. & Yeşilyaprak, B. (2021). Kariyer uyum yetenekleri ölçeği kısa formunun (KUYÖ-KF) Türkçeye uyarlanması: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Ankara University J of Faculty of Educational Sciences(JFES)*, 54(1), 91-116. doi: 10.30964/auebfd.681622.
- Gleason, N.W. (2018). Singapore's higher education systems, in the era of the fourth Industrial revolution: Preparing lifelong learners (book chapter). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0194-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0194-0_7).
- Ghazy, K., Fedorova, A. (2022). The evolution of well-being approach within the Industry 5.0 concept. *Human Progress*, 8(3), 2. <https://doi.org/10.34709/IM.183.12>.
- Hartung, P. J. (1991). Breaking ground: A study of gestalt therapy theory and Holland's Theory of vocational choice. *Annual Meeting of the Mid-Western Educational Research Association*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED337627.pdf> adresinden 26 Nisan 2023 tarihinde alınmıştır.
- Himmetoğlu, B., Ayduğ, D. & Bayrak, C. (2020). Education 4.0: Defining the teacher, the student, and school manager aspects of the revolution. *Turkish Online Journal of Distance Education (IOD)*, 12-28. doi: 10.17718/tojde.770896.
- Hirschi, A. & Valero, D. (2015). Career adaptability profiles and their relationship to adaptivity and adapting, *J of Vocational Behavior*, 88, 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2015.03.010>.
- Holland, J.L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments* (3rd edition). Odessa, FL Psychological Assessment Resources.
- Holland, J.L. & Messer, M.A. (2015). *The self-directed search* (5th edition) FL: Psychological Assessment Resources.
- Ilkou, E., Aby-Rasheed, H., Tavakoli, Hakimov, M.S., Kismihók, G., Auer, S. & Nejd, W. (2021). EduCOR: An educational and career-oriented recommendation ontology. International Semantic Web Conference, *Lecture Notes in Computer Science*, 546-562.

- Ison, R.L. & Russell, D.B. (2000). Designing systems for mutual benefit. in *Ison and Russell* (eds). *Agricultural Extension and Rural Development: Breaking Out of Traditions*, 208–218. Cambridge University Press.
- Kaya, Ç., Akın, A., Sarıçam, H. & Uğur, E. (2014). Turkish version of the career and work adaptability questionnaire (CWAQ): Validity and reliability study. *e-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 5 (1), 76-87. doi: 10.19160/e-ijer.64074.
- Lent, R.W., Singley, D., Sheu, H.B., Schmidt, J.A. & Schmidt, L.C. (2007). Relation of social-cognitive factors to academic satisfaction in engineering students. *Journal of Career Assessment*, 15(1), 87–97.
- Li, H., Ngo, H. Y. & Cheung, F. (2019). Linking protean career orientation and career decidedness: The mediating role of career decision self-efficacy. *Journal of Vocational Behavior*, 115, 103322.
- McMahon, M. & Patton, W. (2018). Systemic thinking in career development theory: Contributions of the systems theory framework, *British Journal of Guidance & Counselling*, 46:2, 229-240, doi: 10.1080/03069885.2018.1428941.
- McIlveen, P. & Midgley, W. (2015). A semantic and pragmatic analysis of career adaptability. in K. Maree & A. Di Fabio (eds.), *Exploring new horizons in career counselling: Turning challenges into opportunities*, 235-247. Sense Publishers. Rotterdam.
- Mikulec, B. (2017). Impact of the Europeanisation of education: Qualifications frameworks in Europe. *European Educational Research Journal*, 16 (4), 455–473.
- Nas, T.İ. & Doğan, A. (2020). Z kuşağındaki bireylerin kişilik özelliklerinin paternalist liderlik algılarına etkisinde örgüt kültürünün düzenleyici rolü. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (2), 30-60.
- Norman, D. A. (1998) the psychology of everyday things. *Basic Books*. New York.
- Özlen, M.K. & Arnaut, D. (2013). Career decisions of university students. *Journal of Community Positive Practices*, 12(2), 92-107.
- Page, K.M. & Vella-Brodrick, D.A. (2009). The 'What', 'Why' and 'How' of Employee Well-Being: A New Model. *Social Indicators Research*, 90(3), 441-458.
- Patton, W. & McMahon, M. (2014). *Career development and systems theory: Connecting theory and practice* (3rd edition) *The Netherlands: Sense*, Rotterdam.
- Rubens, N., Kaplan, D. & Okamoto, T. (2014). E-Learning 3.0: Anyone, Anywhere, Anytime, and AI . In: Chiu, D.K.W., Wang, M., Popescu, E., Li, Q., Lau, R. (eds) *New Horizons in Web Based Learning. ICWL 2012. Lecture Notes in Computer Science*, 7697. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-43454-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43454-3_18)
- Rodrigues, R., Butler, C.L. & Guest, D. (2019). Antecedents of protean and boundaryless career orientations: The role of core self-evaluations: Perceived employability and social capital. *Journal of Vocational Behavior*, 110, 1-11.

- Saracel, N. & Aksoy, I. (2020). Toplum 5.0: Süper Akıllı Toplum. *Social Sciences Research Journal*, 9 (2), 26-34.
- Savickas, M.L., Nota, L., Rossier, J., Dauwalder, J.P., Duarte, M.E., Guichard, J., Soresi, S., van Esbroeck, R. & van Vianen, A. (2009). Life designing: A paradigm for career construction in the 21st Century. *Journal Vocational Behavior*, 75, 239–250.
- Savickas, M. L. (2013). Career construction theory and practice. S. D. Brown, & R. W. Lent (eds.), *Career Development and Counseling: Putting Theory and Research to Work* (2nd ed) 147–186. Wiley.
- Savickas, M.L. & Porfeli, E.J. (2012). Career Adapt-Abilities Scale: Construction, reliability, and measurement equivalence across 13 countries. *Journal of Vocational Behavior*, 80(3), 661-673, <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2012.01.011>
- Serdyukov, P. (2017). Innovation in education: what works, what doesn't, and what to do about it? *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, 10(1), 4-33.
- Sharf, R.S. (2017). Kariyer Gelişim Kuramlarının Kariyer Danışmasına Uygulanması (Çev. F. Bacanlı ve K. Öztemel). *Pegem Akademi*, Ankara.
- Sola, E., Hoekstra, R., Fiore, S. & McCauley, P. (2017). An investigation of the state of creativity and critical thinking in engineering undergraduates. *Creative education*, 8, 1495-1522. <https://doi.org/10.4236/ce.2017.89105>
- von Bertalanffy, L. (1968). General system theory. Foundations, development, applications. *George Braziller*. New York.
- von Bertalanffy, L. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *Academy of Management Journal*, 15, 407–426.
- Yang, X., Feng, Y., Meng, Y. & Qiu, Y. (2019). Career adaptability, work engagement, and employee well-being among Chinese employees: The role of Guanxi. *Frontiers in Psychology*, 10. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01029.

Tablo Ek1. Kariyer Geliştirme Kuramları Bağlamında Hazırlanan Anket Soru ve Cevapları

<p>1) Üniversite eğitiminizin başlangıcından mezuniyet döneminize kadar kariyerinizle ilgili olarak aşağıdakilerden <b>hangileri</b> kişisel gelişimimize katkı sağlamıştır?</p> <p>i) Arkadaş ilişkilerimden öğrendiklerim ii) Derslerimdeki yönlendirmelerden öğrendiklerim iii) Yaptığım projelerden öğrendiklerim iv) Çalışma yaşamı ile ilgili girişimlerimden öğrendiklerim (bir kurumda ya da kişisel olarak)</p> <p>2) Yazılım mühendisliği bölümü öğrencisi olarak kariyerinize bilişim sistemleri dışındaki bir iş alanında başlamayı ya da devam etmeyi planlıyor musunuz? i) Evet ii) Hayır iii) Kararsızım</p> <p>3) Bireylerin yaşamlarının belli dönemlerinde ya da iş yaşamının başında okudukları bölümden farklı bir iş alanına yöneldikleri görülmektedir. Kariyer ile ilgili olarak böylesi bir seçimin nedeni <b>ne(ler)</b> olabilir? i) Yaşam koşulları ve/veya aile faktörü ii) Bilişim teknolojileri alanındaki çalışma şartları nedeni ile bireyin kendine ayıracağı zamanın kısıtlı olması iii) Eğitim ile ilgili yeterli donanuma sahip olmadığı endişesi iv) Bu mesleğin doğru bir seçim olmadığı fark edilmesi v) Yaşama bakıştaki değişimler</p> <p>4) Fiziksel yalnızlığın başarıyı olumsuz etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinir. Bu bağlamda öğrencilik döneminizdeki fiziksel yalnızlığınız ile ilgili olarak aşağıdakilerden <b>hangisi/hangileri</b> etkili olmuştur? i) Akademik başarımı etkilemedi ii) Sosyal iletişimimi etkilemedi. iii) Akademik olarak beni olumsuz etkiledi. iv) Sosyal olarak beni olumsuz etkiledi. v) Fiziksel olarak yalnız değildim</p> <p>5) Öz-yeterliliğin bireyin başarısında önemli rolü olduğu araştırmalarla kanıtlanmıştır. Bu bağlamda aşağıdakilerden <b>hangisi /hangileri</b> sizin için doğrudur? i) Mesleki temel bilgi ve becerileri edinmedeki yeterlilik, hem öğrencilik yaşantısında hem de sonrasında öğrenmede etkilidir. ii) Öğrencilikte öğrenmenin gelişiminin, kurumsal ortamdaki deneyimlerle güçleneceği gerçeği bireyin gayreti ile sağlanır. iii) Öğrencilikte kariyere ilişkin ilgi alanının belirlenmesi ve bunun mesleki derslerdeki yönlendirmelerle ve çevresel etmenlerle birlikte sağlanması önemlidir. iv) Öğrencilik sırasındaki farklı girişimcilik aktivitelerinin kariyer planlamasında ve dolayısı ile öğrenmedeki etkisi önemlidir.</p> <p>6) Mesleki derslerden öğrendiklerinizle içlerinden sizin önem verdikleriniz, aşağıdakilerden <b>hangilerinde</b> etkili olmuştur? i) İlgi duyulan alana ilişkin temel bilginin edinilmesi ii) Kariyer ile ilgili olarak hedef belirleyebilme iii) Kariyer hedeflerine ilişkin planlama yapabilme iv) Kariyer gelişimiyle ilgili sorunları çözebilme v) Farklı kişisel özelliklerin iş yaşamındaki rolü</p> <p>7) Kariyerinizle ilgili olarak yaşamınızın bu dönemine ait temel bileşenler aşağıdakilerden <b>hangileri</b> olabilir? i) İyi bir yaşam standardına sahip olacak gelir elde edebilme</p>	<p>ii) Ailenin beklentilerini karşılayabilme iii) Kişisel değerler ve bunlarla topluma katkıda bulunma iv) Rol modellerin etkileri (aile, arkadaş, herhangi bir kişi) v) Çalışma şartlarının ağırlığından farklı bir yaşam seçimi vi) Beceri ve yeteneklerin farkındalığı</p> <p>8) İşletme/kurum stajlarının kariyer planlamanıza sağlayacağı katkı aşağıdakilerden hangisi/hangileri olabilir? i) Kurumda çalışmaya devam edebilme olanağı ii) Bireyler arası etkileşimde kendini gösterebilme gücü iii) Çalışanların ve yöneticilerin yaklaşımlarından kurum ile ilgili fikir sahibi olabilme iv) Çalışma ortamındaki öğrenme ile okul ortamındaki öğrenme arasındaki farkın anlaşılması v) Çalışma alanının gerçekten istenilen alan olup olmadığının gözlemlenmesi</p> <p>9) Yurt dışında çalışma olanaklarını araştırıyor musunuz? i) Hiç araştırmıyorum ii) Zaman zaman düşünüyorum iii) Yurt içi olanakları ile dengeli olarak araştırıyorum iv) Yurt içine göre daha çok araştırıyorum v) Tek hedefim olarak araştırıyorum</p> <p>10) Çalışma koşulları uzmanlaşmak istediğiniz alanda, fakat proje odaklı olarak istihdam sağlıyorsa sizi nasıl etkiler? i) Kısa süreli istihdam olanağı nedeni ile tercih etmem ii) Kısa süreli istihdam olanağı sağlarsa da kabul ederim.</p> <p>11) Çalışma koşulları uzmanlaşmak istediğiniz alanda, fakat yarı zamanlı ise bu kurumda istihdam etmeye ne kadar gönüllü olursunuz? i) Yaşam standartımı düşüreceği için kabul etmem ii) Kişisel yaşamıma zaman kalacağı için kabul ederim.</p> <p>12) Bilişim sistemleri konusunda kendi işinizi yaparak kariyerinize başlamayı ya da devam ettirmeyi planlıyor musunuz? i) Kesinlikle düşünmüyorum ii) Düşünmüyorum iii) Düşünebilirim iv) Düşünüyorum v) Kesinlikle düşünüyorum.</p> <p>13) Bilişim sektörünün nitelikli işgücü problemi olduğunu bilerek kariyer planlamalarınızda çalışmalarınıza hangi ölçeklerde önem verdiniz? i) Sadece ilgi alanıma yönelik araştırmalar yapıyorum. ii) İlgimi çekmese de günümüzün istihdam olanakları ile ilgili araştırmalar yapıyorum. iii) İş fırsatlarının kariyerimi yönlendirmesinden hoşlanmıyorum. iv) Bugünün iş olanaklarının değişeceğini düşündüğüm için geleceğe yönelik araştırmalara önem veriyorum.</p> <p>14) Yaşamımızı değiştiren pandemi koşulları derslerinize olan motivasyonunuzu nasıl etkiledi? i) Çok Kötü ii) Kötü iii) Ortalama iv) Olumlu v) Çok Olumlu</p> <p>15) Pandemi ile değişen yaşam koşulları profesyonel yaşama geçişteki ya da profesyonel yaşamınızdaki motivasyonunuzu nasıl etkiledi? i) Çok Kötü ii) Kötü iii) Ortalama iv) Olumlu v) Çok Olumlu</p>
--	---



Research Article / Araştırma Makalesi

## SYNTHESIS OF 2-FLUOROBENZOYL THIOUREA DERIVATIVES

2-FLOROBENZOİL TİYOÜRE TÜREVLERİNİN SENTEZİ

Şule EROL GÜNAL<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1364818>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar  
sule.gunal@iuc.edu.tr

Received / Geliş Tarihi  
22.09.2023

Accepted / Kabul Tarihi  
20.10.2023

### Abstract

Fluorine-containing compounds play a significant role in drug development because fluorine atom has unique chemical properties due to its high electronegativity which significantly influences the properties important for drug design. In the present study, 2-fluorobenzoyl thiourea derivatives were synthesized by the reaction of 2-fluorobenzoyl isothiocyanate, which was obtained by the reaction of 2-fluorobenzoyl chloride with ammonium thiocyanate, with appropriate aniline derivatives. The structures of the benzoyl thioureas were confirmed by IR, <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectroscopy.

**Keywords:** Benzoyl thioureas, fluorinated compounds, thioureas.

### Öz

Flor içeren bileşikler ilaç geliştirmede önemli bir rol oynar çünkü flor atomu, ilaç tasarımı için önemli olan özellikleri önemli ölçüde etkileyen yüksek elektronegatifliği nedeniyle benzersiz kimyasal özelliklere sahiptir. Bu çalışmada, 2-florobenzoyl klorürün amonyum tiyosiyanat ile reaksiyonu sonucu elde edilen 2-florobenzoyl izotiyosiyanatın uygun anilin türevleri ile reaksiyonu sonucu bir dizi 2-florobenzoyl tiyoüre türevi sentezlendi. Benzoil tiyoüre yapıları IR, <sup>1</sup>H ve <sup>13</sup>C NMR spektroskopisi ile doğrulandı.

**Anahtar Kelimeler:** Benzoil tiyoüreler, florlu bileşikler, tiyoüreler,

<sup>1</sup>Istanbul University-Cerrahpasa, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Chemistry, İstanbul, Türkiye.  
sule.gunal@iuc.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-2820-7674.

## 1. INTRODUCTION

Thiourea derivatives display a broad range of activities such as antimicrobial (Karipcin et al., 2013; Teke -Tuncel et al., 2019), anticancer (Manjula et al., 2009), anti-HIV (Tsogoeva et al. 2005), antimalarial (Ekoue-Kovi et al. 2009), antitubercular (Liav et al. 2008), monoamine oxidase and cholinesterase inhibitory activities (Hroch et al. 2017). Benzoyl thioureas containing NH groups as the hydrogen bonding site, and oxygen, sulfur and nitrogen as electron donors are one of the main structural units having potential biological and therapeutic properties. Tenovin-1 (Lain et al., 2008) which is a benzoyl thiourea derivative is an inhibitor of the NAD<sup>+</sup>-dependent protein deacetylases (McCarthy et al., 2012) (Figure 1). Moreover, CID 1067700 bearing benzoyl thiourea unit has been reported as the first competitive GTPase inhibitor (Figure 1) (Agola et al., 2012).

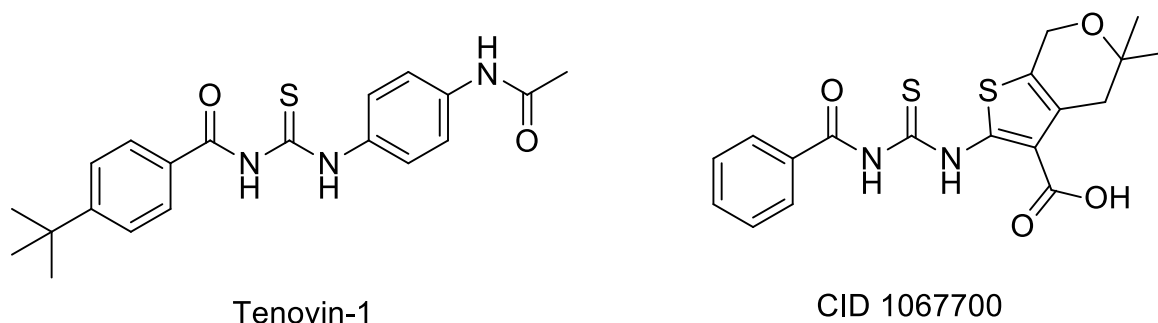


Figure 1. Biologically Active Benzoyl Thiourea Derivatives

Introduction of fluorine atom into the organic compounds changes important properties of the compounds such as stability, acidity/basicity, lipophilicity, toxicity and bioavailability (Han et al., 2020; O'Hagan, 2010; Ali & Zhou, 2023), because of the high electronegativity of fluorine atom. To date, more than 300 fluorinated drugs have been received approval by FDA and most of the blockbuster drugs such as Lipitor, Linezolid and Sitagliptin are fluorine-containing compounds (Han et al., 2020; O'Hagan, 2010; Ali & Zhou, 2023; Shah & Westwell, 2007; Rizzo et al., 2023). Therefore, the synthesis of fluorinated compounds has always received much attention. In this study, benzoyl thiourea derivatives containing fluorine atom (1-6) were synthesized (Figure 2) and their structures were determined by <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy techniques.

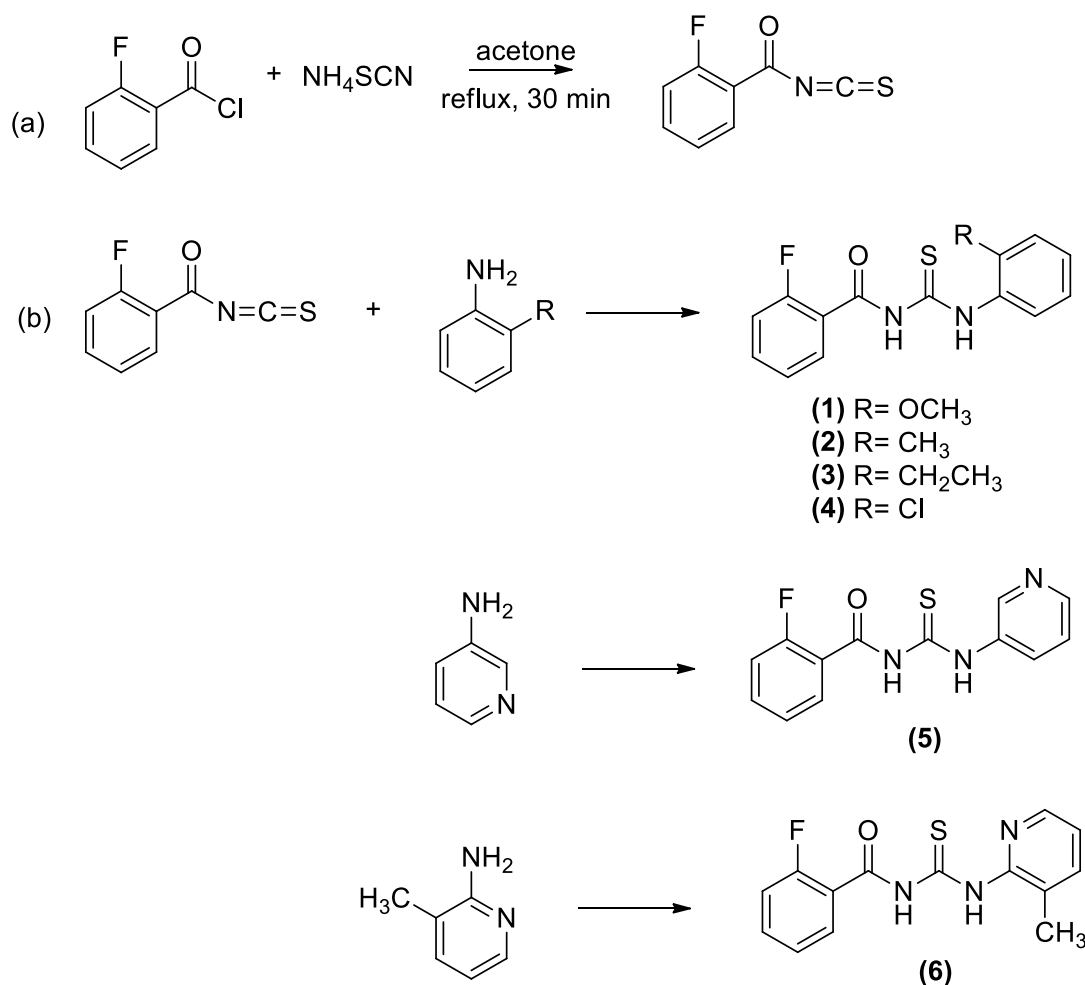


Figure 2. Synthesis of 2-fluorobenzoyl Substituted Thiourea Derivatives (1-6)

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Materials and Instrumentation

All substances were purchased from Sigma-Aldrich. The <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectra for all compounds were taken using a Varian–Mercury VX-400 MHz-BB. FTIR spectroscopy analyses were conducted using a Thermo Fisher Nicolet 380 instrument. Melting points were determined using the Electrothermal 9100 apparatus.

### 2.2. General Procedure for the Preparation of Compounds (1-6)

Ammonium thiocyanate (0,38 g, 5 mmol) in acetone (15m) was added to 2-fluorobenzoyl chloride (0,6 mL, 5 mmol) and the mixture was refluxed for 30 min. The yellow solution of 2-fluorobenzoyl isothiocyanate was filtered and filtrate was used for further reaction. The appropriate aniline derivative (5 mmol) was added to the above filtrate and the mixture was refluxed for 4 h. Subsequently, the solution was cooled, resulting a precipitate which was filtered and subjected to purification through recrystallization using ethanol.

### 2.2.1. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(2-methoxyphenyl) thiourea (1)

Yield: 1,12 g (74 %). mp: 86-88°C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,77 (1H, s), 11,73 (1H, s), 8,60 (J = 7,9 Hz, 1H, d), 7,83 – 6,82 (7H, m), 3,90 (3H, s) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 177,7, 165,8, 161,0, 158,4, 151,0, 134,6, 131,0, 127,2, 125,0, 123,4, 122,3, 120,3, 116,6, 111,8, 56,4. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3410 (NH), 1669 (C=O), 1235 (C=S).

### 2.2.2. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(2-tolyl) thiourea (2)

Yield: 0,98 g (68 %). mp: 106-108°C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,06 (1H, s), 11,74 (1H, s), 7,86 – 7,49 (3H, m), 7,48 – 7,12 (5H, m), 2,28 (3H, s) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 179,9, 165,8, 161,0, 158,6, 137,3, 134,7, 134,0, 130,9, 127,6, 127,10, 126,7, 122,8, 116,8, 116,6, 18,1. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3410 (NH), 1675 (C=O), 1278 (C=S).

### 2.2.3. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(2-ethylphenyl) thiourea (3)

Yield: 1,15 g (76 %). mp: 74-76 °C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,08 (1H, s), 11,76 (1H, s), 7,90 – 7,17 (8H, m), 2,62 (J = 6,8 Hz, 2H, d), 1,18 (J = 6,6 Hz, 3H, t) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 180,3, 165,9, 161,0, 158,6, 139,6, 136,7, 134,7, 131,0, 129,3, 128,0, 127,8, 126,6, 125,1, 116,6, 24,5, 14,8. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3418 (NH), 1674 (C=O), 1275 (C=S).

### 2.2.4. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(2-chlorophenyl) thiourea (4)

Yield: 1,20 g (78 %). mp: 146-148 °C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,41 (1H, s), 11,95 (1H, s), 8,15 – 7,28 (8H, m) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 180,1, 166,0, 161,1, 158,6, 135,8, 134,8, 131,0, 130,0, 128,8, 128,5, 127,8, 125,1, 122,4, 116,6. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3409 (NH), 1667 (C=O), 1279 (C=S).

### 2.2.5. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(pyridin-3-yl) thiourea (5)

Yield: 1,03 g (75 %). mp: 120-122 °C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,26 (1H, s), 11,90 (1H, s), 8,75 (1H, s), 8,48 (J = 4,1 Hz, 1H, d), 8,12 (J = 6,6 Hz, 1H, d), 7,70 (J = 23,3, 5,7 Hz, 2H, dd), 7,57 – 7,24 (3H, m) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 180,3, 165,7, 161,0, 158,6, 147,7, 146,9, 135,5, 134,7, 133,3, 130,9, 125,1, 125,1, 123,9, 122,5, 116,6. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3412 (NH), 1682 (C=O), 1283 (C=S).

### 2.2.6. 1-(2-fluorobenzoyl)-3-(3-methylpyridin-2-yl) thiourea (6).

Yield: 1,14 g (71 %). mp: 118-120 °C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz): δ 12,05 (1H, s), 11,85 (1H, s), 8,35 (1H, s), 7,90 – 7,57 (3H, m), 7,37 (J = 16,7, 8,2 Hz, 3H, dd), 2,31 (3H, s) ppm. <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz): δ 180,1, 165,6, 161,0, 158,5, 150,6, 146,8, 140,0, 134,6, 130,9, 125,1, 123,9, 122,6, 116,6, 17,6. FTIR (ν<sub>max</sub>, cm<sup>-1</sup>): 3413 (NH), 1663 (C=O), 1278 (C=S).

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

2-Fluorobenzoyl isothiocyanate was obtained by the reaction of ammonium thiocyanate and 2-fluorobenzoyl chloride in acetone. Then, 2-fluorobenzoyl isothiocyanate was reacted with appropriate aniline derivatives to give 2-fluorobenzoyl substituted thioureas (1-6). <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR spectra of 1 were given in Figure 3. In the <sup>1</sup>H NMR spectrum of 1, the peaks at 12,77 and 11,73 ppm were assigned to NH between carbonyl and thiocarbonyl group and NH attached to thiocarbonyl group, respectively (Figure 3a). Besides the aromatic peaks, the peak at 3,90 ppm



was assigned to OCH<sub>3</sub> group of 1 (Figure 3a). In <sup>13</sup>C NMR spectrum of 1, the peaks at 177,7 and 165,8 ppm were assigned to C=S and C=O groups, respectively. The peak at 56,4 ppm indicated OCH<sub>3</sub> group (Figure 3b). In FTIR spectrum of 1, the peaks at 3410, 1669 and 1200 cm<sup>-1</sup> indicated the NH, C=O and C=S groups, respectively (Figure 3c).

The synthesized benzoyl thioureas, which include NH groups as hydrogen bonding sites and oxygen, sulfur, and nitrogen as electron-donating elements, are expected to have biological and therapeutic properties (Tsogoeva et al. 2005; Liav et al. 2008; Ekoue-Kovi et al. 2009; Manjula et al., 2009; Hroch et al. 2017; Karipcin et al., 2013). They can also be utilized as a starting compound in the synthesis of various heterocyclics for development of new drug candidates. Moreover, benzoyl thioureas are known for their ability to chelate metal ions (Muhammad et al. 2022). This property can be used in drug discovery, especially in cases where metalloenzymes are involved in disease processes (Seo et al., 2023).

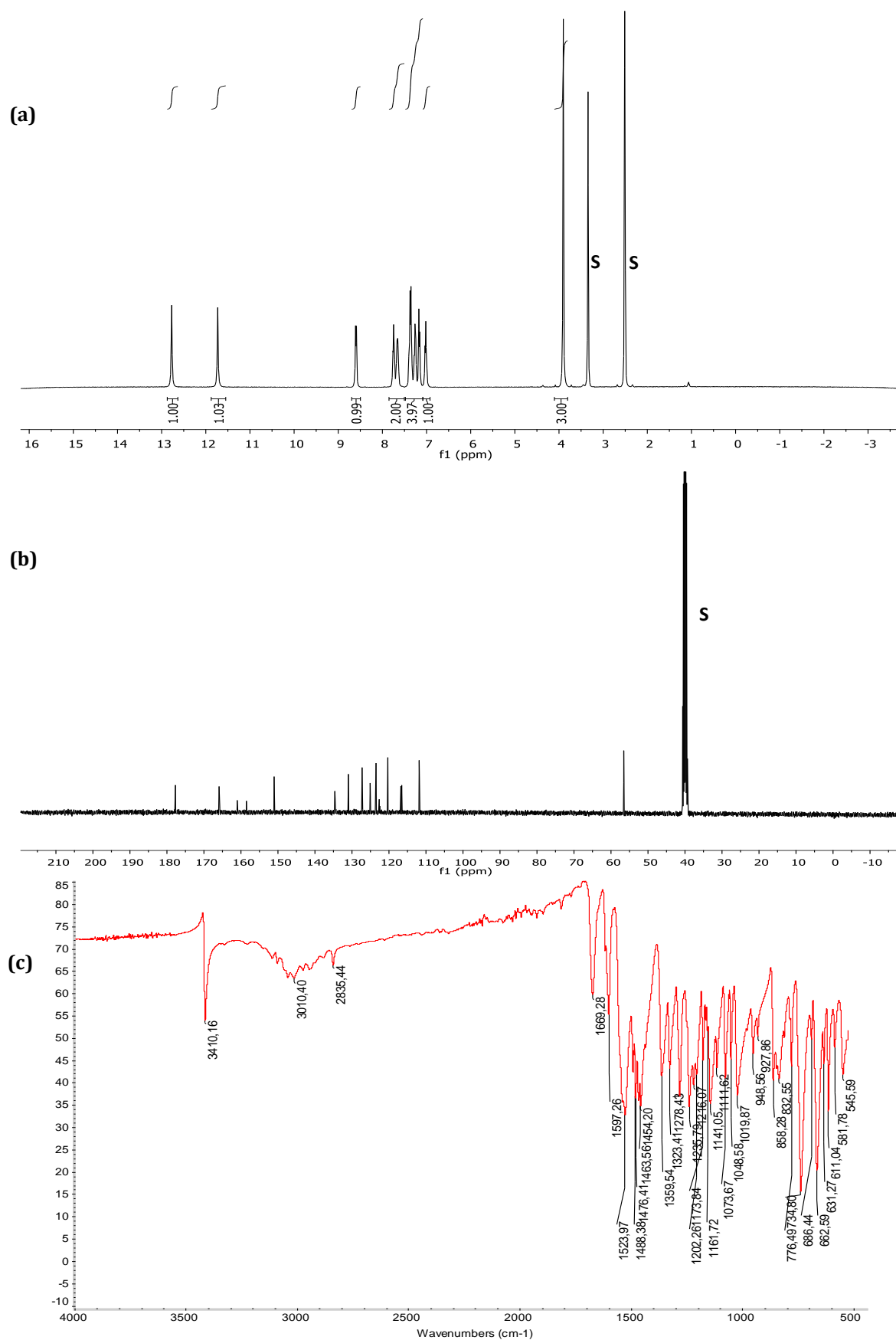


Figure 3.  $^1\text{H}$  (a),  $^{13}\text{C}$  (b) NMR and FTIR (c) Spectra of Compound 1 in  $\text{DMSO-d}_6$  (S: peaks due to solvent  $\text{DMSO-d}_6$ )

#### 4. CONCLUSION

Most of the drug molecules contain fluorine atom since the presence of fluorine changes the properties important for drug design. Synthesis of thioureas containing fluorine atom is of great importance because of their wide range biologic activities. Here, synthesis of 2-fluorobenzoyl thiourea derivatives and the characterization of their structures by spectroscopic methods have been reported. Now that the thiourea derivatives display pharmacological activities, biological screening studies will be worth trying on these compounds.

#### Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

#### REFERENCES

- Agola, J.O., Hong, L., Surviladze, Z., Ursu, O., Waller, A., Strouse J.J., Simpson, D.S., Schroeder, C.E., Oprea, T.I., Golden, J.E., Aubé, J., Buranda, T., Sklar, L. A. & Wandinger-Ness, A. (2012). A Competitive Nucleotide Binding Inhibitor: In Vitro Characterization of Rab7 GTPase Inhibition. *ACS Chemical Biology*. 7(6), 1095–1108. <https://doi.org/10.1021/cb3001099>.
- Ali, S. & Zhou, J. (2023). Highlights on U.S. FDA-approved fluorinated drugs over the past five years (2018–2022). *European Journal of Medicinal Chemistry*. 256, 115476. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2023.115476>.
- Ekoue-Kovi, K., Yearick, K., Iwaniuk, D. P., Natarajan, J.K., Alumasa, J., de Dios, A.C., Roepe P.D. & Wolf. C. (2009). Synthesis and antimalarial activity of new 4-amino-7-chloroquinolyl amides, sulfonamides, ureas and thioureas. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 17(1). 270–283. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2008.11.009>.
- Han, J., Remete, A. M., Dobson, L. S., Kiss, L., Izawa, K., Moriwaki, H., Soloshonok, V.A. & O'Hagan, D. (2020). Next generation organofluorine containing blockbuster drugs. *Journal of Fluorine Chemistry*. 239, 109639. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2020.109639>.
- Hroch, L., Guest, P., Benek, O., Soukup, O., Janockova, J., Dolezal, R., Kuca, K., Aitken, L., Smith, T.K., Gunn-Moore, F., Zala, D., Ramsay, R.R. & Musilek, K. (2017). Synthesis and evaluation of frentizole-based indolyl thiourea analogues as MAO/ABAD inhibitors for Alzheimer's disease treatment. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 25(3), 1143-1152. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2016.12.029>.
- Karipcin, F., Atis, M., Sariboga, B., Celik, H. & Tas. M. (2013). Structural, spectral, optical and antimicrobial properties of synthesized 1-benzoyl-3-furan-2-ylmethyl-thiourea. *Journal of Molecular Structure*. 1048, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.05.042>.
- Lain, S., Hollick, J.J., Campbell, J., Staples, O.D., Higgins, M., Aoubala, M., McCarthy, A.R., Appleyard, V., Murray, K.E., Baker, L., Thompson, A., Mathers, J., Holland, S.J., Stark, M.J., Pass, G., Woods, J., Lane, D.P. & Westwood N.J. (2008). Discovery, In Vivo Activity, and Mechanism of Action of a Small-Molecule p53 Activator. *Cancer Cell*. 13(5), 454-463. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2008.03.004>.

- Liav, A., Angala, S. K., Brennan, P. J. & Jackson, M. (2008). N-D-Aldopentofuranosyl-N-[p-(isoamyloxy)phenyl]-thiourea derivatives: potential anti-TB therapeutic agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 18(8), 2649–2651. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2008.03.033>.
- Manjula, S.N., Noolvi N. M., Parihar, K. V., Manohara Reddy, S.A., Ramani, V., Gadad, A.K., Singh, G., N.G. Kutty & Rao, C.M. (2009). Synthesis and antitumor activity of optically active thiourea and their 2-aminobenzothiazole derivatives: a novel class of anticancer agents. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 44(7), 2923–2929. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2008.12.002>.
- McCarthy, A.R., Pirrie, L., Hollick, J.J., Ronseaux, S., Campbell, J., Higgins, M., Staples, O.D., Tran, F., Slawin, A.M.Z., Lain, S. & Westwood, N. J. (2012). Synthesis and biological characterisation of sirtuin inhibitors based on the tenovins. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 20(5), 1779–1793. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2012.01.001>.
- Muhammad M., Khan, S., Shehzadi S. A., Gul Z., Al-Saidi, H.M., Kamran, A.W., Alhumaydhi F.A. (2022). Recent advances in colorimetric and fluorescent chemosensors based on thiourea derivatives for metallic cations: A review. *Dyes and Pigments*, 205, 110477. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2022.110477>.
- O'Hagan, D. (2010). Fluorine in health care: Organofluorine containing blockbuster drugs. *Journal of Fluorine Chemistry*. 131(11), 1071–1081. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2010.03.003>.
- Rizzo, C., Amata, S., Pibiri, I., Pace, A., Buscemi S. & Piccionello, A. P. (2023). FDA-Approved Fluorinated Heterocyclic Drugs from 2016 to 2022. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(9), 7728. <https://doi.org/10.3390/ijms24097728>.
- Seo, H., Kohlbrand, A.J., Stokes, R.W., Chung, J., Cohen, S.M. (2023). Masking thiol reactivity with thioamide, thiourea, and thiocarbamate-based MBPs. *Chem. Commun.*, 59(16), 2283–2286. <https://doi.org/10.1039/D2CC06596G>.
- Shah, P. & Westwell, A. D. (2007). The role of fluorine in medicinal chemistry. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 22(5), 527–540. <https://doi.org/10.1080/14756360701425014>.
- Teke -Tuncel, S., Erol-Gunal, S., Ekizoglu M., Gokhan-Kelekci, N., Erdem, S.S., Bulak E., Frey W., Dogan, I. (2019). Thioureas and their cyclized derivatives: Synthesis, conformational analysis and antimicrobial evaluation. *Journal of Molecular Structure*. 1179, 40-56. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.10.055>.
- Tsogoeva, S.B., Hateley, M.J., Yalalov, D.A., Meindl, K., Weckbecker, C. & Huthmacher, K. (2005). Thiourea-based non-nucleoside inhibitors of HIV reverse transcriptase as bifunctional organocatalysts in the asymmetric Strecker synthesis. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 13(19), 5680–5685. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2005.05.014>.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## KANTİTATİF TAYİNDE YEŞİL YÖNTEM:ATR-FTIR; FARMASÖTİK PREPARATTA PARASETAMOL TAYİNİ

### GREEN METHOD FOR QUANTITATIVE DETERMINATION: ATR-FTIR; DETERMINATION OF PARACETAMOL IN PHARMACEUTICAL PREPARATION

Nükte TOPRAKSEVER<sup>1</sup>

Gamze ÖZGÜL ARTUÇ<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1375697>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
[nukte.topraksever@istun.edu.tr](mailto:nukte.topraksever@istun.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received  
13.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
31.11.2023

#### Öz

Bu çalışmada azaltılmış toplam yansıma Fourier dönüşümlü kızıl ötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi kullanılarak farmasötik preparatta parasetamol tayin edilmiştir. Parasetamol standart konsantrasyonları NaCl ile seyreltilerek % 20 ile % 100 (a/a) arasında hazırlanmıştır. Parasetamol standardının FTIR spektrumu alınarak karakteristik C=O pikinin değişen yüzde geçirgenliği kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Regresyon katsayısı ( $R^2$ ) 0,9993 ile iyi bir doğrusallık göstermiştir. Parasetamol içeren ticari farmasötik preparattaki miktar tayini yapılmıştır. Farmasötik preparattaki parasetamol miktar tayininin geri kazanımı  $\cong$  % 100'dür. Farmasötik preparata uygulanan ATR-FTIR yöntemi parasetamolün rutin tayini için uygundur.

**Anahtar Kelimeler:** ATR-FTIR, farmasötik preparat, parasetamol, yeşil kimya.

#### Abstract

In this study, attenuated total reflectance Fourier transform infrared (ATR-FTIR) spectroscopy was used for the determination of paracetamol in pharmaceutical preparation. Paracetamol standard concentrations were prepared between 20% and 100% (w/w) by dilution with NaCl. The FTIR spectrum of the paracetamol standard was taken and the calibration curve was plotted using the varying percentage transmittance of the characteristic C=O peak. This curve showed good linearity with a regression coefficient ( $R^2$ ) of 0,9993. Quantification was carried out in commercial pharmaceutical preparation containing paracetamol. The recovery of the quantification of paracetamol in pharmaceutical preparation is  $\cong$  100%. The ATR-FTIR method applied to pharmaceutical preparation is suitable for the routine determination of paracetamol.

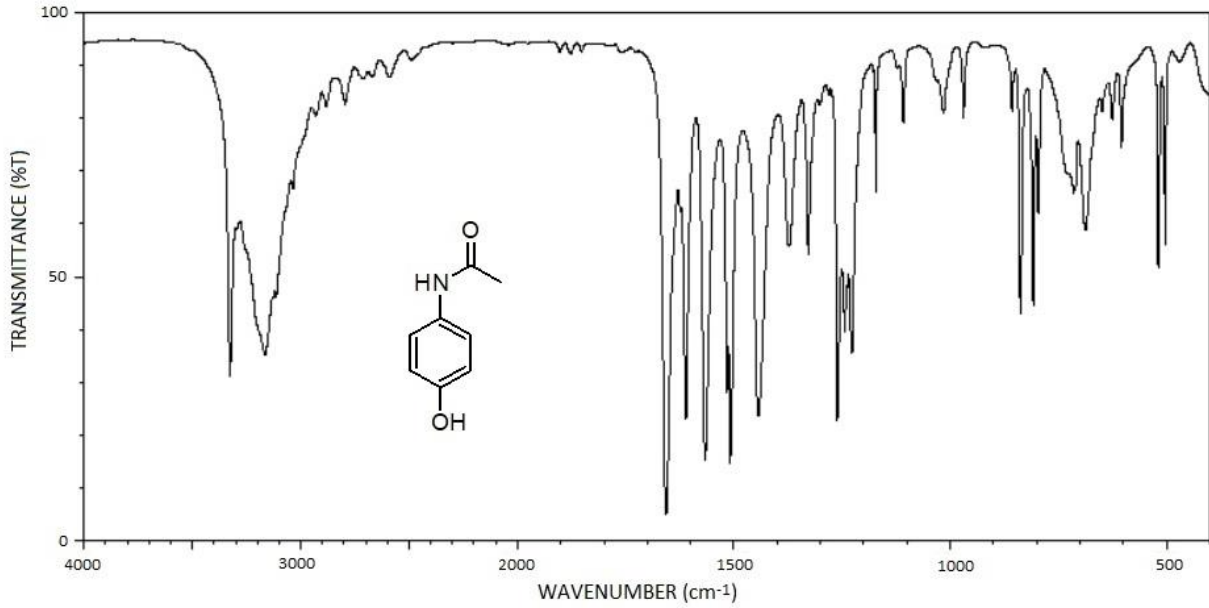
**Keywords:** ATR-FTIR, green chemistry, pharmaceutical preparation, paracetamol.

<sup>1</sup>İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.  
[nukte.topraksever@istun.edu.tr](mailto:nukte.topraksever@istun.edu.tr), [Orcid.org/0000-0001-8982-2219](https://orcid.org/0000-0001-8982-2219).

<sup>2</sup>İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği, İstanbul, Türkiye.  
[gamze.ozgul@istun.edu.tr](mailto:gamze.ozgul@istun.edu.tr), [Orcid.org/0000-0002-7869-1281](https://orcid.org/0000-0002-7869-1281).

## 1. GİRİŞ

Parasetamol; ilk kez 1893 yılında Von Mering tarafından ateş düşürücü/analjezik olarak keşfedilen yetişkinlerde ve çocuklarda ağrı ve ateşin giderilmesinde çok etkili bir tedavi olarak kabul edilen asetillenmiş aromatik bir amiddir (Bosch ve ark., 2006). Kimyasal adı N-(4-hidroksifenil)asetamid olan ve sıklıkla kullanılan analjezik, antipiretik etki gösteren bir ilaç etkin bileşiktir. Kimyasal yapısında fenolik hidroksil ve asetanilid grupları bulunmaktadır (Hejaz ve ark., 2020). FTIR spektrumunda bu gruplara ait karakteristik bantlar ve C=C, alifatik CH gibi diğer gerilme ve eğilme titreşim pikleri de görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Parasetamol Kimyasal Yapısı ve FTIR Spektrumu (Spectral Database for Organic Compounds, (SDBS, 2023))

Günümüzde ilaç analizlerinde, farmasötik preparatlardaki etkin madde ve safsızlıkların belirlenmesine çeşitli spektroskopik teknikler kullanılmaktadır (Pereira ve ark., 2021). Analitik tekniklerdeki gelişmelere rağmen, numune hazırlama tüm tayin yöntemleri için oldukça önemli bir adımdır. Son yıllarda, çevre ve insan sağlığı için yeşil kimya özelliklerini içeren numune hazırlama yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik ilgi giderek artmaktadır. Numune hazırlama yöntemlerinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri, çözücülerin miktarının ve toksisitesinin azaltılmasıyla aşılabilir (Shishov ve ark., 2017).

Parasetamol kantitatif tayininde genellikle titrimetri (Dinç ve ark., 2020), spektrofotometri (Kokilambigai & Lakshmi, 2021; Pasha, 2020), spektrofluorometri (Hasan ve ark., 2021), yüksek performans sıvı kromatografisi (Dong ve ark., 2023) ve sıvı kromatografisi/kütle spektrometri (Boltia ve ark., 2020) gibi teknikler kullanılmaktadır. Tüm bu teknikler uzun ve zaman alıcı prosedürler içermekle birlikte organik çözücülere ihtiyaç duymaktadır, bu da analiz maliyetini artırır ve atık oluşumuna neden olur (Mahesar ve ark., 2011). FTIR spektroskopisi hızlı, basit ve tahribatsız bir tekniktir. Hem basit hem de karmaşık numune matrislerinde bulunan çeşitli bileşenlerin hızlı bir şekilde ayrıştırılmasını sağlamaktadır (Mallah ve ark., 2012). Ulusal Analitik Kimya Mükemmeliyet Merkezi (NCEAC) FTIR grubu, çeşitli numunelerde farklı kalite parametrelerinin belirlenmesi için tek sıçramalı (SB) azaltılmış toplam yansıma (ATR) Fourier-transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisini kullanan yöntemler geliştirmiştir (Sherazi ve ark., 2011). Azaltılmış toplam yansıma Fourier dönüşümlü kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopisi, endüstride farmasötik formülasyonlardaki aktif bileşenlerin kantitatif tayininde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. ATR-FTIR tekniğinde, numune bileşenini ayırmaya veya bir çözücü içinde çözmeye gerek olmadığı için

çok kullanışlıdır. Tahribatsız örnekleme yöntemi, örnek hazırlama ihtiyacını ortadan kaldırır. Böylece, sıvı ve katı numuneler ATR-FTIR prosedürlerinde doğrudan analiz edilebilir (Sabbagh ve ark., 2022). Ayrıca, FTIR spektroskopisi günümüzde çokça tavsiye edilen yeşil bir analitik yöntem olarak düşünülebilir (Nugrahani & Khalida, 2018). Bu çalışmada farmasötik preparattaki parasetamol ATR-FTIR spektroskopisiyle direkt kantitatif olarak tayin edilmiştir

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

Parasetamol standardı ( $\geq 99,0$ ) Sigma Aldrich'ten temin edilmiştir. IR sınıf NaCl Sigma Aldrich'den satın alınmıştır. Farmasötik tablet numuneleri İstanbul ilindeki eczanelerden satın alınmıştır.

### 2.2. Kullanılan Cihazlar

Kızılötesi spektrumları kaydetmek için Bruker, Tensor 27 marka ATR-FTIR cihazı, RADWAG, AS220.R2 Marka hassas terazi tüm deneysel çalışmalarda tartımlar için kullanılmıştır.

### 2.3. ATR-FTIR Spektrumlarının Ölçülmesi

Spektrumlar elmas kristal içeren Bruker Platinum ATR Tensor 27 FTIR spektrometresiyle kaydedilmiştir. Spektrumların toplanması için OPUS yazılımı kullanılmıştır.  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$  aralığında ATR tekniğiyle standart ve örnek karışımlarının FTIR spektrumları alınmıştır. Her örnek ve standart spektrumu alınmadan önce ATR elmas kristali etanol ile temizlenmiştir. Değişen her standart ve örnek konsantrasyonu üzer tekrarlı çalışılmış ve her konsantrasyon değişiminde background alınmıştır. Tüm ölçümler ortam sıcaklığında yapılmış ve numuneler nemi emmesini önlemek için desikatörde tutulmuştur.

### 2.4. ATR-FTIR Kalibrasyonu

% 20 ile % 100 (a/a) arasında farklı miktarlarda değişen parasetamol standardı; IR sınıfı NaCl ve hesaplanan miktarda parasetamolün tartılması ve karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Standart ve çalışma örneklerinin hazırlanmasında; parasetamol karakteristik pikleri ile girişimi engellemek amacıyla infrared bölgesinde geçirgen özellik gösteren NaCl kullanılmıştır. Parasetamol standardı ve NaCl'nin toplam ağırlığı 100 mg'dır. Tüm standart noktalar üzer tekrarlı olarak tartılmıştır. Parasetamol standardı ve NaCl homojen olana kadar agat havanda karıştırıldı. Parasetamol standartlarının spektrumları kalibrasyon için kullanılmıştır. Kalibrasyon grafiğinin çizilmesinde  $1650 \text{ cm}^{-1}$  de görünen C=O piki esas alınarak % geçirgenlik değerleri formül yardımı ile absorbansa çevrilmiş ve absorbans ile konsantrasyon arasında kalibrasyon grafiği çizilmiştir.

### 2.5. ATR-FTIR Metodu Validasyonu

ATR-FTIR yöntemi seçilen spektral aralıkta doğrulanmıştır. Doğrusallık, kesinlik, doğruluk, tespit (algılama) limiti (LOD) ve miktar belirleme limiti (LOQ) dahil olmak üzere yöntem doğrulama parametreleri Uluslararası Uyum Konferansı (ICH) kılavuzlarına (ICH, 2014) göre incelenmiştir. LOD ve LOQ sırasıyla 3.3SS/m ve 10SS/m şekilde hesaplanmıştır (ss; standart sapma, m; kalibrasyon eğrisi eğimi). Gün içi ve günler arası tekrarlanabilirlik sırasıyla aynı gün beş kez ve beş farklı gün aynı numunenin ölçülmesi ve bağıl standart sapmasının hesaplanmasıyla elde edilmiştir. ATR-FTIR metodu doğruluğu için standart parasetamol ve numune ölçümü sonuçlarından % geri kazanım değeri olarak verilmiştir. Tüm parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. ATR-FTIR Yönteminin Kalibrasyon ve Validasyon Sonuçları

<b>Kalibrasyon aralığı (% a/a)</b>	20-100
<b>R<sup>2</sup></b>	0,999
<b>LOD (% a/a)</b>	0,074
<b>LOQ (% a/a)</b>	0,225
<b>Gün içi tekrarlanabilirlik (n=5) % BSS</b>	0,657
<b>Günler arası tekrarlanabilirlik (n=5) % BSS</b>	1,045
<b>Geri kazanım (%)</b>	114

## 2.6. Farmasötik Preparatta Parasetamol Miktar Tayini

Parasetamol 500 mg/tablet içeren ticari tablet numunesinde miktar tayini yapılmıştır. Farmasötik preparat agat havanda toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilmiş preparat, ilgili FTIR spektrumunu kaydetmek için doğrudan elmas ATR üzerine uygulanmıştır. Miktar belirleme işlemi üç tekrar halinde gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortalama  $\pm$  standart sapma olarak ifade edilmiştir (Tablo 2).

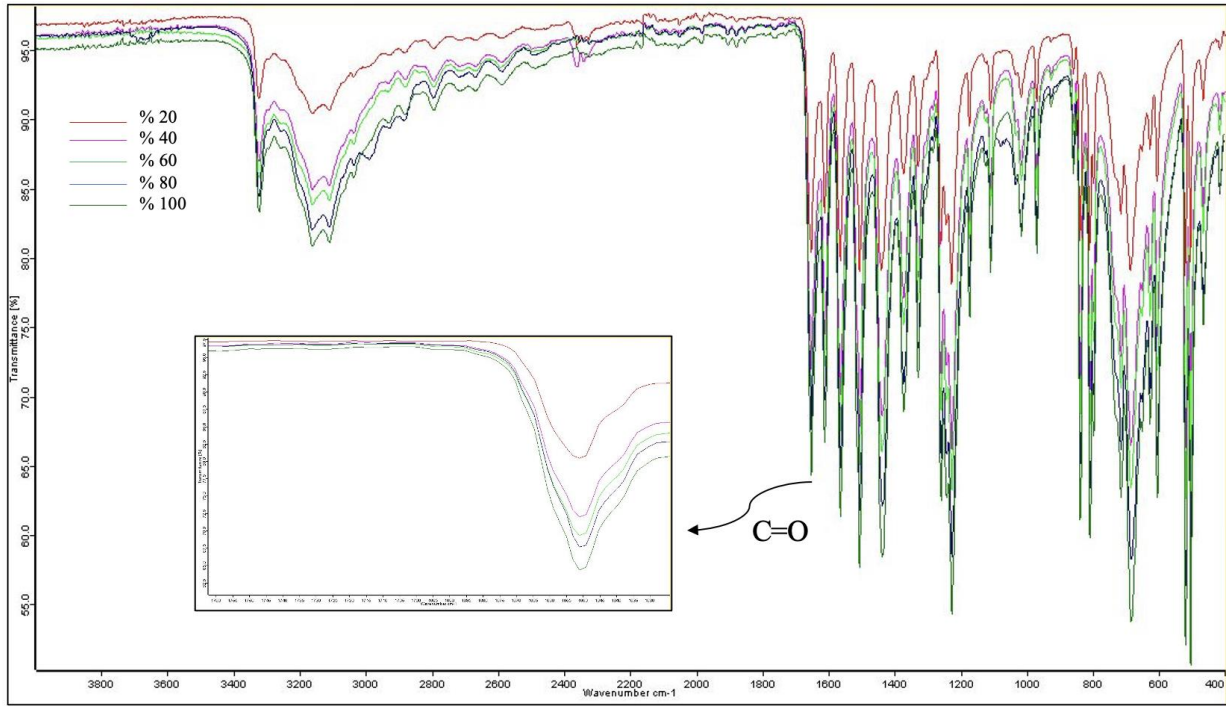
Tablo 2. Parasetamol İçeren Ticari Farmasötik Preparat Numuneleri Konsantrasyonu Sonuçları

<b>Numune</b>	<b>Etiket değeri</b>	<b>Parasetamol konsantrasyonu (mg/tablet)</b>	<b>Geri kazanım (%)</b>
%25	500 mg/tablet	499,14 $\pm$ 1,77	99,82
%50	500 mg/tablet	493,37 $\pm$ 2,41	98,67

## 3. SONUÇ

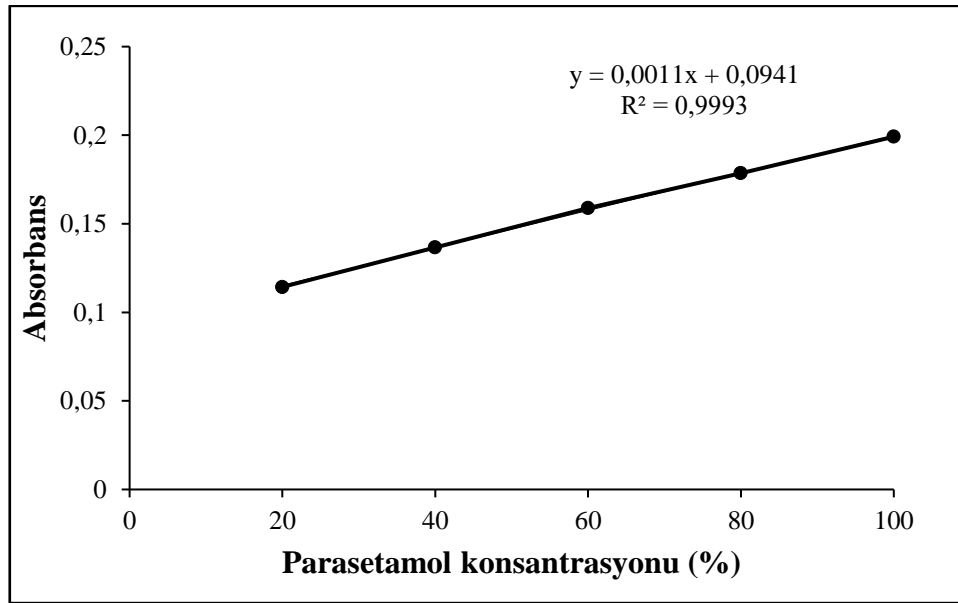
Çeşitli oranlarda saf parasetamol ve NaCl ile hazırlanan örneklerden alınan FTIR spektrumları Şekil 2'de verilmiştir. Elde edilen spektrumda parasetamole ait karakteristik pikler 3400-3100  $\text{cm}^{-1}$ 'de OH ve NH bantları; 3090-3000  $\text{cm}^{-1}$ 'de aromatik CH bantları; 1650  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=O bandı ve 1616  $\text{cm}^{-1}$ 'de C=C bantları görülmüştür. NaCl ile hazırlanan saf parasetamol karışımlarında; karışımdaki parasetamol miktarının artmasıyla bileşiğe ait karakteristik fonksiyonel grup gerilme bantlarının pik şiddetlerinin arttığı gözlenmiştir.





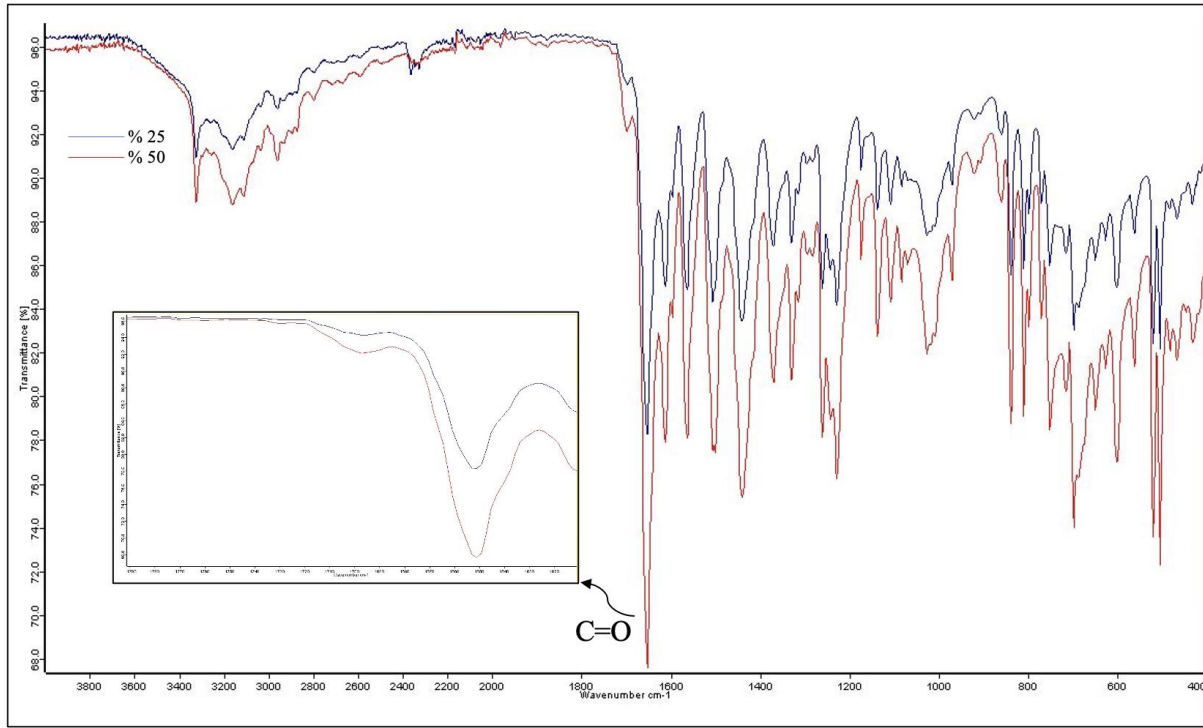
Şekil 2. Parasetamol Kalibrasyon Standartlarının ATR-FTIR Spektrumları

Değişen oranlarda parasetamol ve NaCl içeren karışımların FTIR spektrumlarından kalibrasyon grafiği çizilmesi amacıyla; bileşiğe ait karakteristik piklerden biri olan karbonil grubuna ait  $1650\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen şiddetli pik referans alınmıştır. Her bir karışıma ait ortalama % geçirgenlik değerinden absorbanza geçilerek saf parasetamol standardına ait kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Parasetamol Standart Kalibrasyon Grafiği

Ezilerken toz hale getirildikten sonra belli oranda tartılan farmasötik preparat (25-50 mg) örneğine NaCl (75-50 mg) eklenerek hazırlanan çalışma örneklerinin FTIR spektrumları alınmıştır. Elde edilen spektrumlarda parasetamole ait karakteristik pikler gözlenmiştir. Karışımdaki toz haline getirilmiş farmasötik preparat miktarı arttıkça FTIR spektrumundaki karakteristik piklerin % geçirgenlik değerlerinin de uygun şekilde değiştiği gözlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Parasetamol Farmasötik Preparat Numunelerin ATR-FTIR Spektrumu

Literatürdeki parasetamol miktar tayini çalışmaları incelenmiş ve yapılan çalışma ile kesinlik, geri kazanım değerleri karşılaştırılması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Parasetamolün Farklı Yöntemlerle Miktar Tayininde Doğruluk, Kesinlik Parametrelerinin Karşılaştırılması

Metot	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Referans
FTIR	98-100	3,8	(Qasim, 2010)
Spektrofotometre	94,2-107,1	1,4-3,3	(Doğan ve ark., 2020)
Spektrofotometre	97,5-98,5	0,41-1,18	(Vichare ve ark., 2010)
HPLC	98,4-99,8	< 4,0	(Pereira ve ark., 2021)
HPLC	93,3-100,0	-	(Alsaad ve ark., 2019)
LC-MS/MS	87,0-111,3	3,4-6,0	(Han, 2023)
Spektrofotometre	97,4-101,4	0,33-1,72	(Husain ve ark., 2023)
RP-HPLC	99,4-100,1	< 2,0	(Saeed ve ark., 2023)
ATR-FTIR	98,6-99,8	< 2,0	Bu çalışma

#### 4. TARTIŞMA

Farmasötik preparatta parasetamol tayini için uygulanan yöntem basit, ucuz ve çevre dostu bir analitik yöntemdir. İlave basamaklar içeren geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin aksine ATR-FTIR toksik kimyasallar kullanılmadan, hızlı analiz yapılmasını sağlar. Yeşil kimya ilkelerini yerine getirdiği, hızlı ve ekonomik bir analiz metodu olduğu için ilaç endüstrisinde geniş uygulama alanı bulabilir. Bununla birlikte birkaç etken içeren farmasötik preparatta da miktar tayini gerçekleştirebilir. ATR-FTIR spektrometre ile miktar tayini ilaç endüstrisinde rutin olarak yapılan kalite kontrol analizleri için kullanılan zaman alıcı prosedürlere iyi bir alternatiftir.

**Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

**Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**KAYNAKÇA**

- Alsaad, A. A. A., Alassadi, E. A. S., Al-Salman, H. N. K. & Hussein, H. H. (2019). The simultaneous determination of ibuprofen and paracetamol in pharmaceutical formulations by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. *Asian Journal of Pharmaceutics* 13(2) 141-152.
- Boltia, S. A., Soudi, A. T., Elzanfaly, E. S. & Zaazaa, H. E. (2020). Development and validation of chromatographic methods for simultaneous determination of paracetamol, orphenadrine citrate and caffeine in presence of p-aminophenol; quantification of p-aminophenol nephrotoxic impurity using LC-MS/MS. *Journal of Chromatographic Science*, 58(3), 223-233. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmz094>.
- Bosch, M. E., Sánchez, A. J. R., Rojas, F. S. & Ojeda, C. B. (2006). Determination of paracetamol: Historical evolution. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 42(3) 291-321. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.007>.
- Dinç, E., Ertekin, Z. C. & Ünal, N. (2020). Three-way analysis of pH-UV absorbance dataset for the determination of paracetamol and its pKa value in presence of excipients. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118049>.
- Doğan, B., Elik, A. & Altunay, N. (2020). Determination of paracetamol in synthetic urea and pharmaceutical samples by shaker-assisted deep eutectic solvent microextraction and spectrophotometry. *Microchemical Journal*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104645>.
- Dong, N. T., Trang, N. T. T., Hoang, N. V., Linh, P. T. & Yen, P. T. (2023). Simultaneous determination of paracetamol and diclofenac in wastewater by high-performance liquid chromatography method. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 61(4), 599-608. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/16418>.
- Han, D. (2023). Simultaneous determination of paracetamol, propyphenazone, aspirin and caffeine in white wine samples by liquid chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry. *Research Square*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2794814/v1>.
- Hasan, M. H., El-sadek, M. E. & El-Adl, S. M. (2021). The using of dansyl chloride for novel spectrofluorimetric determination of paracetamol in tablet dosage form. *Analytical Chemistry Letters*, 11(3), 427-436. <https://doi.org/10.1080/22297928.2021.1925586>.

- Hejaz, H. A., Kanan, A., Al Mohtaseb, M. & Ja'bari, A. (2020). Development and characterization of paracetamol medicated lollipops. *Pharmaceutical Technology in Hospital Pharmacy*, 5(1). <https://doi.org/10.1515/pthp-2020-0012>.
- Husain, F., Ysrafil, Y., Daud, R. P. A., Aisyah, A. N., Fadri, A. & Nur, S. (2023). Authentication of medicinal chemicals in traditional herbal products (Jamu) by UV-Vis spectrophotometry. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 43(2), 100-110. <https://doi.org/10.52794/hujpharm.1090673>.
- ICH (2014). Harmonised Tripartite Guideline Validation Of Analytical Procedures: Text And Methodology Q2(R1) The international conference on harmonisation of technical requirements for registration of pharmaceuticals for human use. [www.somatek.com](http://www.somatek.com) adresinden 12 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Kokilambigai, K. S. & Lakshmi, K. S. (2021). Utilization of green analytical chemistry principles for the simultaneous estimation of paracetamol, aceclofenac and thiocolchicoside by UV spectrophotometry. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 14(1) 97-105. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1862311>.
- Mahesar, S. A., Sherazi, S. T. H., Kandhro, A. A., Bhangar, M. I., Khaskheli, A. R. & Talpur, M.Y. (2011). Evaluation of important fatty acid ratios in poultry feed lipids by ATR FTIR spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 57(2), 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2011.06.009>.
- Mallah, M. A., Sherazi, S. T. H., Mahesar, S. A. & Khaskheli, A. R. (2012). Simultaneous quantification of ibuprofen and paracetamol in tablet formulations using transmission fourier transform infrared spectroscopy. *American Journal of Analytical Chemistry*, 03(08), 503-511. <https://doi.org/10.4236/ajac.2012.38067>.
- Nugrahani, I. & Khalida, F. N. (2018). Green method for act and ibuprofen simultaneous assay in the combination tablet using FTIR. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 10(3), 77-85. <https://doi.org/10.22159/ijap.2018v10i3.23034>.
- Pasha, C. (2020). Determination of paracetamol in pharmaceutical samples by spectrophotometric method. *Ecletica Quimica*, 45(3), 37-46. <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v45.3.2020.p37-46>.
- Pereira, F. J., Rodríguez-Cordero, A., López, R., Robles, L. C. & Aller, A. J. (2021). Development and validation of an rp-hplc-pda method for determination of paracetamol, caffeine and tramadol hydrochloride in pharmaceutical formulations. *Pharmaceutics*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/ph14050466>.
- Qasim, B. H. (2010). Quantitative Determination of Paracetamol in Pharmaceutical Formulations by FTIR Spectroscopy. *Eng. & Tech. Journal*, 28(15). [www.pdfactory.com](http://www.pdfactory.com) adresinden 12 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Sabbagh, B. A., Kumar, P. V., Chew, Y. L., Chin, J. H. & Akowuah, G. A. (2022). Determination of metformin in fixed-dose combination tablets by ATR-FTIR spectroscopy. *Chemical Data Collections*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2022.100868>.

- Saeed, A. M., Mohammed, O. J. & Hussein, N. G. (2023). Validation of liquid chromatographic analytical method for determination of aspirin, caffeine and paracetamol in some pharmaceutical tablets form in Iraqi market. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 16(1), 215-220. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00040>.
- SDBS, (2023) [https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](https://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct_frame_top.cgi) adresinden 12 Ekim 2023 tarihinde alınmıştır.
- Sherazi, S. T. H., Ali, M. & Mahesar, S. A. (2011). Application of Fourier-transform infrared (FT-IR) transmission spectroscopy for the estimation of roxithromycin in pharmaceutical formulations. *Vibrational Spectroscopy*, 55(1), 115-118. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.09.010>.
- Shishov, A., Bulatov, A., Locatelli, M., Carradori, S. & Andruch, V. (2017). Application of deep eutectic solvents in analytical chemistry. A review. *Microchemical Journal*, 135, 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.07.015>.
- Vichare, V., Mujgond, P. & Tambe, V. (2010). Simultaneous Spectrophotometric determination of paracetamol and caffeine in tablet formulation. *International Journal of PharmTech Research CODEN* 2(4).



*Araştırma Makalesi / Research Article*

# YAPAY SİNİR AĞI VE ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMLERİ İLE NH<sub>3</sub> YOĞUŞMA ISI TRANSFERİ KATSAYISI TAHMİNİ

## PREDICTION OF NH<sub>3</sub> CONDENSATION HEAT TRANSFER COEFFICIENT WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND MULTIPLE REGRESSION METHODS

Hakan AYDOĞAN<sup>1</sup>

Mehmed Rafet ÖZDEMİR<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1383524>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
hakanaydogan@kastamonu.edu.tr.

Geliş Tarihi / Received  
30.10.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
07.12.2023

### Öz

Soğutma sektöründe kullanılan halokarbon veya sentetik içerikli bileşiklerin çevreye olumsuz etkilerinden dolayı günümüzde kullanımları uluslararası protokollerle sınırlandırılmıştır. Bu sebeple, NH<sub>3</sub> gibi düşük küresel ısınma ve ozon tüketme faktörlerine sahip organik bazlı soğutucu akışkanların kullanımı ön plana çıkmıştır. NH<sub>3</sub>, yüksek ısı kapasitesi ve düşük viskozite gibi avantajlı termo-fiziksel özelliklerinden dolayı son yıllarda iklimlendirme endüstrisinde tercih edilmektedir. İklimlendirme sistemleri geliştirilirken, belli bağıntılarla sistemin ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü tahmin edilmelidir. Ancak NH<sub>3</sub>'ün diğer akışkanlardan farklı termo-fiziksel özelliklere sahip olması sebebiyle, literatürde NH<sub>3</sub> için yoğuşma rejiminde ısı transfer katsayısını ve basınç düşüşünü yüksek doğruluk oranında veren bir model bulunmamaktadır. Bu çalışmada, yatay ve düz borularda yoğuşma rejiminde bulunan NH<sub>3</sub> akışkanı ile yapılmış literatür çalışmalarından veriler alınarak çoklu regresyon ve yapay sinir ağları metotları ile ısı transferi katsayısı tahmini yapılmıştır. Sonuçlar literatürdeki bilgiler ışığında tartışılmış ve öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Amonyak, çoklu regresyon, yapay sinir ağları, yoğuşma.

### Abstract

The utilization of halocarbon or synthetic-based compounds in the refrigeration sector is limited by international protocols due to their adverse effects on the environment. For this reason, using organic-based refrigerants with low global warming and ozone depletion factors such as NH<sub>3</sub> has come to the fore. NH<sub>3</sub> has been preferred in the air conditioning industry in recent years due to its advantageous thermo-physical properties, such as high thermal capacity and low viscosity. While developing air conditioning systems, the system's heat transfer coefficient and pressure drop should be predicted with specific correlations. However, since NH<sub>3</sub> has different thermo-physical properties from other fluids, no model in the literature gives the heat transfer coefficient and pressure drop in the condensation regime with high accuracy. In this study, heat transfer coefficient prediction was conducted with multiple regression and artificial neural network methods by taking data from literature studies with NH<sub>3</sub> fluid in condensation regimes in horizontal and straight pipes. The results were discussed in light of the information in the literature and presented with suggestions.

**Keywords:** Ammonia, artificial neural network, condensation, multiple regression.

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye.  
hakanaydogan@kastamonu.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-9482-9888.

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.  
mehmet.ozdemir@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3832-9659.

## 1.GİRİŞ

Soğutma endüstrisi günümüzde ticari olarak ve günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmakta olup, toplum için önemli bir yer tutmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle gıda endüstrisi, tıbbi malzemelerin korunumu ve elektronik soğutma gibi düşük sıcaklığa ihtiyaç duyan alanlarda soğutma verimliliği yüksek sistemlere olan ihtiyaç giderek artmaktadır, (Chen ve ark., 2022; Jankovich & Osman, 2015; Özdemir, 2016). Öte yandan, bu sistemlerde kullanılan CFC ve HCFC bazlı geleneksel soğutucu akışkanların yüksek ozon tabakası delme potansiyeli (ODP) ve küresel ısınma katsayıları (GWP) ve atmosferde uzun süre kalmaları sebebiyle kullanımları kısıtlanmaktadır, (Di Filippo ve ark., 2022).

Amonyak (NH<sub>3</sub>) eski zamanlardan beri soğutma sistemlerinde soğutucu akışkan olarak kullanılan sıfır ODP ve GWP değerlerine sahip düşük sıcaklık uygulamaları için kullanılabilen çevre dostu bir akışkandır, (Park & Hrnjak, 2008). Literatürde yapılan çalışmalar neticesinde NH<sub>3</sub>'ün yanıcılığı, toksisitesi ve bakır ile uyumsuzluğu gibi dezavantajlarının yan sıra termal-fiziksel özelliklerinin R32, R410A, R134a ve R404A gibi geleneksel soğutucu akışkanlara göre aynı doyma sıcaklığında daha avantajlı olduğu belirtilmiştir, (Park & Hrnjak, 2008; Zhang ve ark., 2021). Örneğin, NH<sub>3</sub>'ün yüksek termal iletkenlik ve yüzey gerilim değerleri, sistemdeki termal direnci azaltmaya ve erken kuruma noktasına ulaşmasına yardımcı olur, (Zhang ve ark., 2021). Başka bir çalışmada, Pearson, (2008) NH<sub>3</sub>'ün diğer geleneksel soğutucu akışkanlara kıyasla en yüksek teorik sistem verimliliğine sahip olduğunu ve birim hacim başına soğutma kapasitesinin aynı çalışma koşullarında R22'den neredeyse %60 ve R134a'dan %60 daha yüksek olduğunu öne sürmüştür. Yoğuşma prosesi esnasında akışkanın rejimi buhar kalitesi, kütle akısı, ısı akısı gibi girdilerin değişiminden etkilenmektedir. Bu noktada bu girdilere bağlı olarak kabarcıklı akış, tabakalı akış, dalgalı akış ve halkalı akış gibi farklı iki fazlı akış rejimleri olduğundan ötürü, ısı transferi katsayısı ve basınç düşüşü verileri bu akış rejimlerine oldukça bağlıdır. Bu farklı akış rejimlerini tespit ederek akış haritasını çıkarmanın en etkili yöntemi, mikroskoba bağlı hızlı bir kamera ile gözlem yapmaktır. Ancak bu yöntem eş zamanlı olarak yapılmalı ve farklı uygulamalar ve geometrilerde bunların tekrar edilmesi gerekir ki bu son derece zahmetli ve maliyetlidir. Bu çalışmalar sonucunda, NH<sub>3</sub>'ün soğutucu akışkan olarak kullanıldığı verimli soğutma sistemi ürünlerini laboratuvar ölçeğinden prototip ve nihai ürün aşamasına taşımak için yoğuşma rejiminde ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü modelleri geliştirmek gerekir. Literatürde NH<sub>3</sub>'ün farklı termal-fiziksel özelliklerinden ve yukarıda bahsedilen farklı akış rejimlerinden ötürü yoğuşma rejiminde yüksek doğruluğa sahip ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü modeli önerilememiştir.

Cavallini ve ark. (2006), çapı 3 mm'den büyük pürüzsüz yatay borularda akan sıvıların yoğuşma ısı transfer katsayısını belirlemek için bir yöntem önermiştir. Önerilen metot HCFC, HFC, HC bazlı akışkanlar, CO<sub>2</sub>, su ve NH<sub>3</sub> için uygulanmıştır. Bu metodun 5478 veride %14 hata ile ısı transfer katsayısını yoğuşma esnasında tahmin edebildiği belirtilmesine rağmen, NH<sub>3</sub> için tatmin edici tahmin vermediği rapor edilmiştir. Diğer bir çalışmada, Park ve Hrnjak (2008) yatay, pürüzsüz, 8.1 mm çaplı alüminyum borular için NH<sub>3</sub> yoğuşma ısı transferi ve basınç düşüşüne yeni bir model önermiştir. Önerilen bu yeni model, 35 °C doyma sıcaklığında ve 20-270 kg/m<sup>2</sup>s arası kütle akısında verilere uygulanmış olup, yoğuşma ısı transferi verilerinin çoğunu %20 içinde tahmin edebilmiştir. Basınç düşüşü için iki ayrı akış modeli önerilmiş olup, ayrılmış modelin 1 kPa/m 'den daha yüksek verileri nispeten daha iyi tahmin ettiği, homojen modelin ise 1 kPa/m'den düşük verileri daha iyi tahmin ettiği bulunmuştur. Fonk ve Garimella (2016) saf NH<sub>3</sub> ve zeotropik NH<sub>3</sub>/su karışımlarının yoğuşma ısı transferini tahmin etmek için modeller geliştirmiştir. Geliştirilen model literatürdeki verilerle doğrulanmış olup %12,8 hata payı ile yoğuşma ısı transferi katsayısını tahmin edebilmiştir. Önerilen modelin temel özelliği, sıvı film aktarımı üzerindeki halkasal ve halkasal olmayan akış etkilerinin, yoğuşma ve buhara duyarlı soğutma katkılarının dikkate alması ve yeni sıvı film modeli yoluyla mini/mikro kanal etkilerinin hesaba

katılması olarak belirtilmiştir. Tao ve Ferreira (2020), plakalı ısı eşanjörlerinde  $\text{NH}_3$  yoğuşması için ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü tahmin modelleri geliştirmiştir. Bu sebeple, deneyler yaparak veriler elde etmişler ve açık literatürden modeller ile karşılaştırmışlardır. Seçilen eşitliklerin deneysel verileri iyi tahmin edememesinden ötürü, konvektif yoğuşmadan yerçekimi kontrollü yoğuşmaya geçişi temsil eden akış modellerine dayalı bir ısı transferi modeli geliştirilmişlerdir. Basınç düşüşü tarafında ise Lockhart ve Martinelli modeli bazlı bir eşitlik ile sürtünme basıncını tahmin etmeye çalışmışlardır. Yazarlar, önerilen ısı transferi ve sürtünmeli basınç düşüşü modellerinin iyi tahmin performansları gösterdiğini belirtmesine rağmen hata payını sunmamışlardır. Yukarıdaki literatür çalışmalarından anlaşıldığı üzere,  $\text{NH}_3$  için yoğuşma prosesinde ısı transferi katsayısını ve basınç düşüşünü yüksek doğrulukta tahmin edebilen tam oturmuş bir model bulunmamaktadır.

Çoklu regresyon modeli, mühendislik başta olmak üzere çeşitli disiplinlerde tahminleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Li ve ark. (2020), plakalı ısı eşanjörleri için açık literatürde bulunan veriler kullanarak ısı transferi katsayısını çoklu regresyon metodu ile tahmin etmeye çalışmıştır. Geliştirdikleri model ile verilerin %74,3'ünü  $\pm$  %30 aralığında, %94,9'ünü ise  $\pm$  %50 aralığında tahmin edebilmişlerdir. Başka bir çalışmada, Zhang ve ark. (2021), yedi farklı akışkan için yoğuşma ısı transferi katsayısını tahmin edebilmek için çoklu regresyon yöntemi ile bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, deneysel yoğuşma ısı transferi katsayı verilerini %8,9 hata payı ile tahmin edebilmiştir. Son yıllarda ise yapay sinir ağları (YSA) yöntemi, mühendislik problemlerinin çözümünde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Qiu ve ark. (2020), mini/mikro kanallarda akış kaynama ısı transferini tahmin etmek için 16 çalışma sıvısında, 0,15 mm – 16 mm hidrolik çap aralıklarında, 19 – 1608  $\text{kg/m}^2\text{s}$  kütle akısı aralığında ve 0 – 1 buhar kalitesindeki 16953 veri setine makine öğrenimi temelli bir yaklaşım önermiştir. Yazarlar, boyutsuz sayılardan oluşan girdi parametrelerine dayalı YSA model mimarisini geliştirmiş ve veri setini %14,3 hata ile tahmin etmişlerdir. Başka bir çalışmada, Qiu ve ark. (2021) 10 çalışma sıvısı, 0,0006 – 0,7766 azaltılmış basınç, 0,15 – 5,35 mm hidrolik çap, 33,1 – 2787 kütle akısı verilerini içeren 2787 veri noktasından mini/mikro kanallarda akış kaynama basıncı düşüşünü dört farklı algoritma ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçlara göre YSA modeli, %9,58 hata payıyla en iyi performansı göstermiştir. Literatüre göre, YSA tekniği ile  $\text{NH}_3$  yoğuşma ısı transfer katsayısının değerlendirilmesine odaklanan sınırlı bir çaba olduğu görülmüştür.

Yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, ısı transferi uygulamalarında çoklu regresyon ve YSA yöntemleri başarı ile uygulanabilir. Bu çalışmada, literatürden farklı deneysel çalışmalarla elde edilmiş  $\text{NH}_3$  yoğuşma ısı transfer katsayısı verileri çoklu regresyon ve YSA metotları kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylece, literatürde sıklıkla kullanılan bu iki tahmin yönteminden hangisinin daha iyi performans göstereceği belirlenebilecektir.

## 2. MATERYAL VE METOT

$\text{NH}_3$ 'ün yoğuşma prosesi esnasında ısı transfer katsayısı verileri (EK-1) literatürdeki kaynaklardan alınmıştır, (Vollrath ve ark., 2003; Komandiwirya ve ark.,2005). Bu çalışmalarda saf  $\text{NH}_3$  iç çapları 7,52 mm ve 8,1 mm olan iki alüminyum yatay, pürüzsüz boruda yoğuşmaya tabi tutulmuştur. Deneyler esnasında kütle akısı 20 – 270  $\text{kg/m}^2\text{s}$ , ısı akısı 2 – 10  $\text{kW/m}^2$  ve buhar kalitesi 0 – 0,95 aralıklarında değişmiştir.

Yoğuşma prosesinin karakteristiğini boru çapı, ısı akısı, kütle akısı ve buna bağlı oluşan buhar kalitesi gibi parametreler etkilemektedir. Literatürde  $\text{NH}_3$  için yoğuşma çalışmaları çok fazla bulunmadığından, bu çalışmada ısı transferi katsayısını (h) etkileyen bağımsız değişkenler olarak boru çapı, kütle akısı ve buhar kalitesi alınmıştır.



Bu çalışmada, veri analizi için çoklu regresyon ve yapay sinir ağı yöntemleri kullanılmıştır. Çoklu regresyon analizi için doğrusal (1) ve doğrusal olmayan modeller (2) R istatistik programı kullanılarak denenmiş ancak en uygun model aşağıdaki eşitlik (2)'de elde edilmiştir.

$$h = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 x + \beta_3 D + \varepsilon \quad (1)$$

$$h = \beta_0 + \left[ \frac{\beta_1 \log G}{(\beta_2 x + \beta_3 D)^2} \right] + \varepsilon \quad (2)$$

Burada, bağımlı değişken olan  $h$ , NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısını göstermektedir. Bağımsız değişken  $G$ , kütle akışını;  $x$ , buhar kalitesini;  $d$  ise boru çapını ifade etmektedir.  $\beta_0$  parametresi burada, modelin sabitini;  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  parametreleri ise bağımsız değişkenlerin katsayılarını;  $\varepsilon$  ise modelin hata terimini göstermektedir.

## 2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

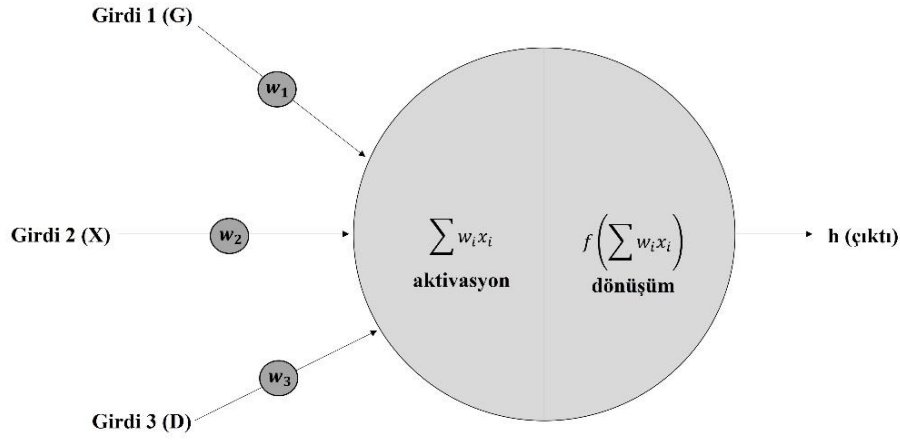
Genel bir YSA'nın yapısı, bir girdi katmanı, gizli katmanlar (Şekil 2) ve bir dizi girdi parametresinin ileri beslemeli işlem için girdi düğümlerine sağlandığı ve bilginin ağ üzerinden çıkış katmanındaki düğümlere aktarıldığı bir çıktı katmanından oluşur. YSA, bir vektörün başka bir vektör uzayına haritalanmasını sağlayan güçlü bir evrensel tahmincidir (Maggiora ve ark., 1992). YSA'nın gücü, girdi verilerindeki bazı gizli ilişkileri, ortaya çıkarmadan da hesaba katabilmesinde yatmaktadır. Verideki gizli olan bu bilgilerin yakalanmasına "Sinir Ağlarının Eğitimi" denir (Svozil ve ark., 1997; İnel ve ark., 2016).

YSA'daki temel hesaplama birimi, Şekil 1'de gösterildiği gibi bir nöronun oluşur. Burada, bir nörona gelen giriş sinyallerinin ağırlıklı toplamı, bir çıkış sinyali üretmek için bir aktivasyon fonksiyonundan ( $f$ ) geçirilir. Sinir ağı yapısına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) olmak üzere iki tip yapay sinir ağı bulunmaktadır. İleri beslemeli ağlarda girdi ve girdi ağırlıkları hesaplanır ve daha sonra bu fonksiyonun sonuçları bir sonraki katmana aktarılır. İşlem gizli katmana ulaştığında ise durdurulur. Buna karşılık, geri beslemeli ağlarda bazen işlem bir önceki katmana bağlanır. Geri beslemeli sinir ağlarında, bir ağın çıkışı, her nöronun girişine bağlanır (Haykin, 2005). Bir nöronun kendisi doğrusal olmayan bir birim olmadığından dolayı, sinir ağları da doğrusal değildir (Svozil ve ark., 1997). Ayrıca, çıkış sinyalinde kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından en yaygın olanları; Sigmoid fonksiyon (eşitlik 2), düzeltilmiş lineer fonksiyon (eşitlik 3) ve hiperbolik teğet fonksiyonudur (eşitlik 4).

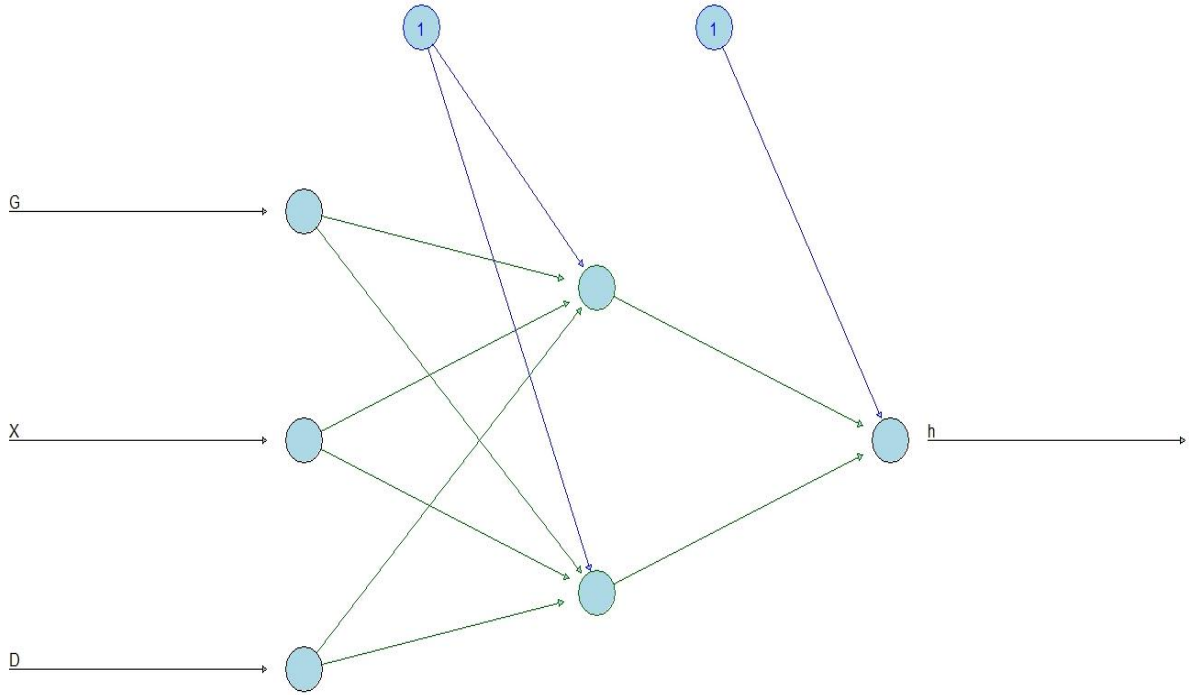
$$\phi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

$$\phi(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } x \geq 0 \\ x & \text{eğer } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\phi(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (5)$$



Şekil 1. Tek Bir Nöron



Şekil 2. İki Gizli Katmanlı Örnek Bir YSA Modeli

Bu çalışmada, girdi değişkenler; kütle akışı (G), buhar kalitesi (X) ve boru çapı (D) olmak üzere, çıktı değişken olan  $\text{NH}_3$  için yoğunlaşma ısı transferi katsayısı (h) Python programı kullanılarak yapay sinir ağları yöntemi ile analiz edilecektir. Buna ek olarak, yapay sinir ağları modelinde farklı gizli katmanlar kullanılarak, modelin performans ölçümü için Hata Kareleri Ortalaması (Mean Square Error-MSE) ve Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Square Error-RMSE) değerleri karşılaştırılacaktır. MSE ve RMSE hesaplaması sırasıyla aşağıdaki eşitlik (5) ve (6)'da gösterilmiştir:

$$MSE = \frac{\sum (h_{tp,pred} - h_{tp,exp})^2}{N} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (h_{tp,pred} - h_{tp,exp})^2}{N}} \quad (7)$$

Ayrıca, termal sistemleri analiz etmek için YSA ile yapılan birçok çalışmada, model tahminini anlayabilmek için  $R^2$  (determinasyon katsayısı) hatası kullanılır.  $R^2$ , Pearson korelasyon katsayısı olan  $R$ 'ye göre daha çok tercih edilir. Çünkü,  $R$  ile doğrusal korelasyon katsayısı ölçülürken,  $R^2$  ile model tarafından açıklanan varyans oranının ölçüsü elde edilir ve bu değer aynı zamanda bağımlı değişken ölçüğünden bağımsızdır (James ve ark., 2013).  $R^2$  ölçüsü aşağıdaki eşitlikteki (7) gibi tanımlanmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(h_{tp,pred} - h_{tp,exp})^2}{\sum(h_{tp,exp} - \bar{h}_{tp,exp})^2} \quad (8)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısının kestirimini yapmak amacıyla, öncelikle veri setine Çoklu Regresyon analizi yöntemi uygulanmış ve sonuçlar aşağıda 3.1. kısımda sunulmuştur. Ayrıca, karşılaştırma yapmak için veriler YSA analizi ile incelenmiş ve analiz bulguları 3.2. kısımda verilmiştir.

#### 3.1. Çoklu Regresyon Sonuçları

Bu çalışmada, NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısının, kütle akışı, buhar kalitesi ve boru çapı ile olan ilişkisini kestirebilmek amacıyla eşitlik (2)'deki model kullanılarak çoklu regresyon analizi R istatistik programı aracılığıyla yapılmış ve Tablo 1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 1. Çoklu Regresyon Analiz Çıktıları

<i>Katsayılar</i>	<b>Kestirim</b>	<b>Std. Hata</b>	<b>t-değeri</b>	<b>P(&gt; t )</b>
$\beta_0$	0,1617	0,44536	0,356	0,7218
$\beta_1$	4,8070	1,0087	4,765	0,0000 ***
$\beta_2$	9,9638	1,7322	5,752	0,0000 ***
$\beta_3$	-0,4914	0,1288	-3,816	0,0001 ***

Tablo 1'de görüldüğü üzere, modelde  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  parametreleri NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Model kalıntısının standart hatası 1,364 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, modelin  $R^2$  değeri 0,724 olarak bulunmuş olup bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenin %72'sini açıkladığı tespit edilmiştir. Parametrelerin kestirimi ile aşağıdaki denklem (eşitlik 8) inşa edilmiştir. Bu denklem ile MSE değeri 1,822 olarak hesaplanmıştır.

$$h = 0,1617 + \left[ \frac{4,8070 * \log G}{(9,9638 * x - 0,4914 * D)^2} \right] \quad (9)$$

#### 3.2. YSA Sonuçları

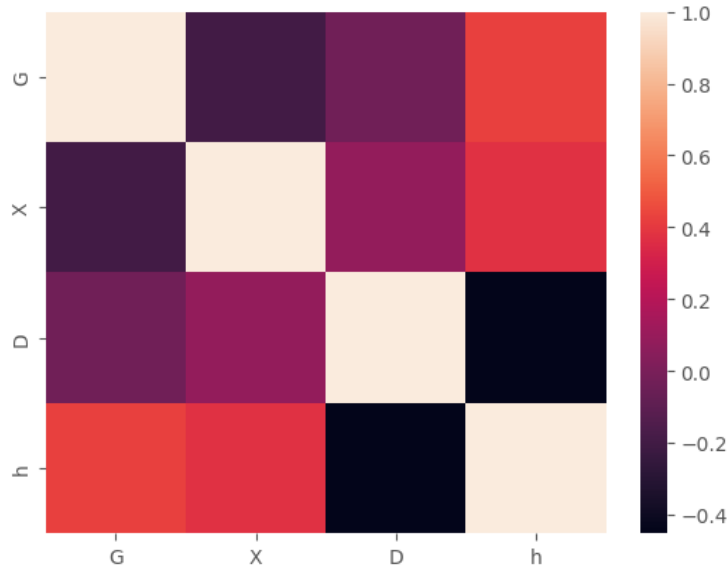
Bağımlı değişken olan NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısının, bağımsız değişkenlerden; kütle akışı, buhar kalitesi ve boru çapı ile olan ilişkisini kestirebilmek ve çoklu regresyon analizi sonuçları ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla Yapay Sinir Ağları yöntemi uygulanmıştır. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler

	<b>G</b>	<b>X</b>	<b>D</b>	<b>h</b>
<b>N</b>	236	236	236	236
<b>Ortalama</b>	108,78	0,50	7,79	6,54
<b>Standart Sapma</b>	84,59	0,31	0,29	2,60
<b>min</b>	18,00	0,00	7,52	2,20
<b>25%</b>	40,00	0,18	7,52	4,76
<b>50%</b>	79,50	0,54	7,52	5,85
<b>75%</b>	161,00	0,82	8,10	7,60
<b>max</b>	283,00	1,00	8,10	20,00

Tablo 2'ye bakıldığında, her değişkende 236 tane gözlem ile analiz yapıldığını görebiliriz.  $\text{NH}_3$  yoğunlaşma ısı transferi katsayısının ortalaması 6,54, standart sapması ise 2,60 olarak bulunmuştur. Kütle akışının ortalaması 108,78, boru çapının ortalaması 7,79 ve buhar kalitesinin ortalaması ise 0,50 olarak elde edilmiştir.

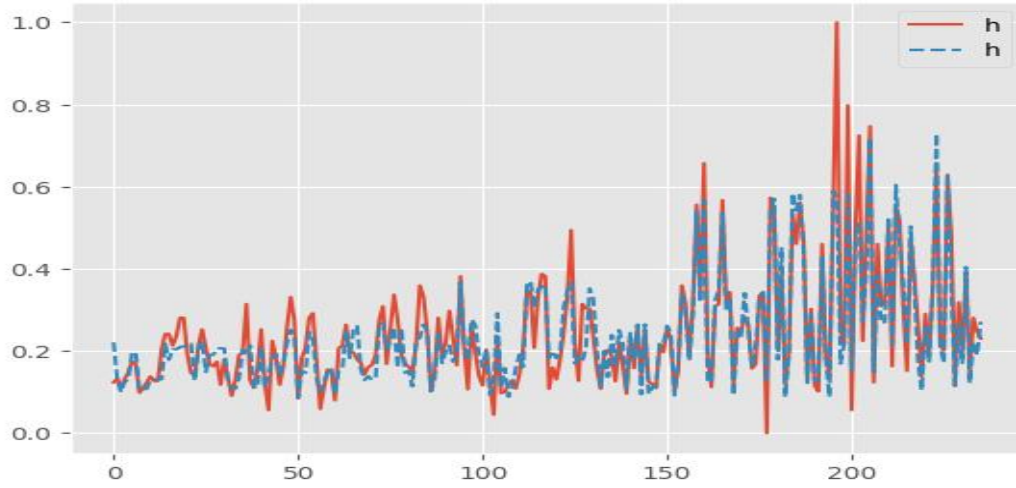
Verilere, YSA analizi öncesinde normalizasyon işlemi uygulanmış ve tüm değerler 0-1 aralığına indirgenmiştir. Sonrasında, değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve aşağıda Şekil 3'teki korelasyon ısı haritası elde edilmiştir.



Şekil 3. Değişkenler Arası Korelasyon Isı Haritası

Şekil 3'te değişkenler arasındaki korelasyonlar görülmektedir. Burada, en yüksek pozitif korelasyon 0,42 olup h değişkeni ile G değişkeni arasında görülmüştür. X ile G bağımsız değişkenleri arasında ise zayıf negatif korelasyon (-0,20) tespit edilmiştir. Korelasyon ısı haritasına genel olarak bakıldığında ise değişkenler arasında yüksek korelasyon olmadığı açık bir şekilde görülmektedir.

YSA analizinde değişkenlere farklı gizli katmanlar ve iterasyonlar uygulanmış, optimum sonuçlar gizli katman sayısının 100 olduğu ve maksimum iterasyon sayısının ise 10.000 olduğu modelde elde edilmiştir. Bu model sonucuna göre, MSE değerinin 0,0036 olduğu tespit edilmiş ve aynı zamanda modelin  $R^2$  değeri ise 0,83 olarak elde edilmiştir. Modelin uyumluluğu ise aşağıda Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. NH<sub>3</sub> için Yoğuşma Isı Transferi Katsayısı ve Tahmini Grafiği

Şekil 4'te NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısı ve tahmini grafiği görülmektedir. Burada kesikli çizgi h, ısı transferi katsayısının tahmini göstermektedir. Grafiğe bakıldığında, modelin gerçek değerler ile oldukça uyumlu olduğu ve hata oranının düşük olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

### 3.3. Çoklu Regresyon ve YSA Modellerin Karşılaştırılması

Bu kısımda, çoklu regresyon ve YSA modelinin çıktıları kıyaslanmış ve bulgular aşağıdaki Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Hata ölçülerinin karşılaştırılması

Hata Ölçüleri	Çoklu Regresyon	YSA
$R^2$	0,724	0,830
MSE	1,822	0,003
RMSE	1,349	0,054

Tablo 3'te açıkça görüldüğü üzere, NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısını açıklamada YSA modeli, çoklu regresyon modeline göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Çoklu regresyon modelinde  $R^2$  değeri 0,724 bulunurken, YSA modelindeki bağımsız değişkenler ile ısı transferi katsayısının %83 oranında açıklandığını tespit edilmiştir. Burada, model başarısını gösteren önemli hata ölçülerinden biri de MSE değeridir. MSE değeri Tablo 3'te görüldüğü gibi, YSA modelinde oldukça küçük çıkmış (0,003) ve YSA modelinin, çoklu regresyona göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

NH<sub>3</sub> gazı, termofiziksel özelliklerinden dolayı diğer konvansiyonel gazlardan farklı davranışlar gösterebilmektedir. NH<sub>3</sub> sıfır ozon tüketme ve küresel ısınma faktörü değerleri ile düşük sıcaklık uygulamaları için kullanılabilen çevre dostu bir akışkandır. Bu çalışmada öncelikle NH<sub>3</sub> gazının yoğuşma ısı transfer katsayısı üzerinde etkisi bulunan 3 bağımsız değişken literatür çalışması ile tespit edilmiş ve farklı iki kaynaktan deneysel veri elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemleri ile NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transfer katsayısı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan çoklu regresyon modelinde ısı transfer katsayısı % 72,4 oranında açıklanırken, YSA modelinde % 83 oranında açıklanmıştır.

Literatürde NH<sub>3</sub> için yoğuşma ısı transferi katsayısının YSA modeli ile tahminini içeren sınırlı sayıda çalışma vardır. Buna kıyasla, farklı akışkanlar için kaynama ve yoğuşma esnasındaki ısı transferi katsayısının YSA ile tahminini kapsayan çalışmalar mevcuttur. Nie ve ark., 2013, yatay borularda farklı akışkanlar için yoğuşma ısı transferi katsayısının makine öğrenmesi yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, 6064 deneysel noktadan oluşan ısı transferi katsayısı veri setini % 19,21 hata ile tahmin etmeyi başarmışlardır. Başka bir çalışmada Qiu ve ark., 2020, 16953 deneysel noktadan oluşan veri seti için kaynama ısı transferi katsayısını YSA yöntemi ile tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Yazarlar, % 14,3 hata payı ile kaynama ısı transferi katsayısını tahmin etmeyi başarmışlardır. Kocak ve ark., 2022, nano akışkanların ısı transferi katsayısını YSA, çoklu regresyon ve adaptif nöro-bulanık yöntemleri ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, YSA ve adaptif nöro-bulanık yöntemlerinin çok daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir. Yukarıdaki çalışmalarda sonuçlara paralel olarak, bu çalışmada da NH<sub>3</sub> yoğuşma ısı transferi katsayısının tahmininde YSA yöntemi, çoklu regresyon yöntemine kıyasla oldukça yüksek performansta sonuçlar vermiştir.

Bu çalışma sonucunda NH<sub>3</sub>'ün soğutucu akışkan olarak kullanıldığı sistemlerde ısı transfer katsayısı tahmin yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmasının önemli olduğu anlaşılmıştır. Sonraki çalışmalarda daha geniş veri setleri kullanılarak ısı transfer katsayısı yanında basınç düşüşü tahminlenmesinin de yapılması düşünülmektedir. Ayrıca, NH<sub>3</sub>'ün farklı termodinamik özelliklerinden ötürü, bağımsız değişkenlerin fazla alınarak bulanık ortamda kritik, TOPSIS, entropi ve bazı çok kriter karar verme teknikleri ile en önemli bağımsız değişkenlerin seçilmesinin de ileriki çalışmalarda yapılması düşünülmektedir.

#### **Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **KAYNAKÇA**

- Cavallini, A., Col, D.D., Doretti, L., Matkovic, M., Rossetto, L., Zilio, C. & Censi, G. (2006). Condensation in horizontal smooth tubes: a new heat transfer model for heat exchanger design. *Heat Transfer Engineering*, 27(8), 31-38.
- Chen, X., Yang, Q., Chi, W., Zhao, Y., Liu, G. & Li, L. (2022). Energy and exergy analysis of NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade refrigeration system with subcooling in the low-temperature cycle based on an auxiliary loop of NH<sub>3</sub> refrigerants. *Energy Reports*, 8, 1757-1767.
- Di Filippo, R., Bursi, O. S. & Di Maggio, R. (2022). Global warming and ozone depletion potentials caused by emissions from HFC and CFC banks due to structural damage. *Energy and Buildings*, 273, 112385.
- Fronk, B. M. & Garimella, S. (2016). Condensation of ammonia and high-temperature-glide zeotropic ammonia/water mixtures in minichannels–Part II: Heat transfer models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 1357-1373.

- Haykin, S. (2005). *Neural networks: A comprehensive foundation*. 2. Baskı, Prentice Hall PTR.
- İnel, M., Eti, S. & Yıldırım, H. (2016). A comparison of artificial neural network and decision tree for profitability in technology sector. *International Journal of Development Research*, 6(7), 8417-8421.
- James, G., Witten, D., Hastie, T. & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning*, Springer, 112, New York.
- Jankovich, D. & Osman, K. (2015). A feasibility analysis of replacing the standard ammonia refrigeration device with the cascade NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> refrigeration device in the food industry. *Thermal Science*, 19(5), 1821-1833.
- Kocak, E., Aylı, E. & Turkoglu, H. (2022). A comparative study of multiple regression and machine learning techniques for prediction of nanofluid heat transfer. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 14(6), 061002.
- Komandiwirya, H. B., Hrnjak, P. S. & Newell, T. A. (2005). An experimental investigation of pressure drop and heat transfer in an in-tube condensation system of ammonia with and without miscible oil in smooth and enhanced tubes. *Air Conditioning and Refrigeration Center*. College of Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Li, W., Zheng, B., Lv, T. & Ayub, Z. (2020). A modified correlation for flow boiling heat transfer in plate heat exchangers. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 12(6), 6-14.
- Maggiora, G. M., David, W. E. & Robert, G. T. (1992). Computational neural networks as model-free mapping devices. *Journal of chemical information and computer sciences*, 32(6), 732-741.
- Nie, F., Wang, H., Zhao, Y., Song, Q., Yan, S. & Gong, M. (2023). A universal correlation for flow condensation heat transfer in horizontal tubes based on machine learning. *International Journal of Thermal Sciences*, 184, 107994.
- Özdemir, M.R. (2016). *Single-phase flow and flow boiling of water in rectangular metallic microchannels* [Doktora tezi]. Brunel University London, Londra.
- Park, C. Y. & Hrnjak, P. (2008). NH<sub>3</sub> in-tube condensation heat transfer and pressure drop in a smooth tube. *International Journal of Refrigeration*, 31(4), 643-651.
- Pearson, A. (2008). Refrigeration with ammonia. *International Journal of Refrigeration*, 31(4), 545-551.
- Qiu, Y., Garg, D., Zhou, L., Kharangate, C. R., Kim, S. M. & Mudawar, I. (2020). An artificial neural network model to predict mini/micro-channels saturated flow boiling heat transfer coefficient based on universal consolidated data. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 149, 119211.
- Svozil, D., Kvasnicka, V. & Pospichal, J. (1997). Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 39(1), 43-62.

- Tao, X. & Ferreira, C. A. I. (2020). NH<sub>3</sub> condensation in a plate heat exchanger: Flow pattern based models of heat transfer and frictional pressure drop. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 154, 119774.
- Vollrath, J. E., Hrnjak, P. S. & Newell, T. A. (2003). An experimental investigation of pressure drop and heat transfer in an in-tube condensation system of pure ammonia. *Air Conditioning and Refrigeration Center*. College of Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Zhang, R., Liu, J. & Zhang, L. (2021). Boiling heat transfer and visualization for R717 in a horizontal smooth mini-tube. *International Journal of Refrigeration*, 131, 275-285.
- Zhang, J., Elmegaard, B. & Haglind, F. (2021). Condensation heat transfer and pressure drop correlations in plate heat exchangers for heat pump and organic Rankine cycle systems. *Applied Thermal Engineering*, 183, 116231.

Tablo Ek-1. Çalışmada Kullanılan Verinin Bir Kısmı

<b>G (kg/m<sup>2</sup>s)</b>	<b>x (-)</b>	<b>D (mm)</b>	<b>h (W/m<sup>2</sup>K)</b>
18	1	7,52	4,4
19	0,94	8,1	4,59
19	0,14	8,1	4,15
19	0,81	8,1	4,55
19	0,96	8,1	4,84
19	0,34	7,52	5,3
19	0,32	7,52	5,2
20	0,17	8,1	3,95
20	0,35	8,1	4,15
20	0,57	8,1	4,41
20	0,9	8,1	4,66
20	0,88	8,1	4,46
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
275	0,09	8,1	4,25
275	0,39	8,1	7,87
275	0,2	8,1	5,68
276	0,38	7,52	9,2
277	0,1	8,1	4,77
277	0,1	7,52	7,2
279	0,05	7,52	6,6
283	0,17	7,52	6,3





*Derleme Makale / Review Article*

# ALPHAFOLD: DERİN ÖĞRENME VE SİNİR AĞLARI YOLUYLA PROTEİN KATLAMASINDA DEVRİM YARATMAK

## ALPHAFOLD: REVOLUTIONIZING PROTEIN FOLDING THROUGH DEEP LEARNING AND NEURAL NETWORKS

Burcu TEKİN<sup>1</sup>

Rafiq GURBANOV<sup>2</sup>

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1323165>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author  
[rafig.gurbanov@bilecik.edu.tr](mailto:rafig.gurbanov@bilecik.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received  
30.10.2023

Kabul Tarihi / Accepted  
07.12.2023

### Öz

AlphaFold, bir protein dizisinin üç boyutlu yapısını tahmin etmek için derin sinir ağlarını ve gelişmiş makine öğrenimi tekniklerini kullanan, DeepMind ekibi tarafından geliştirilmiş bir protein katlama tahmin aracıdır. Protein katlanmasının tahmini, hesaplamalı biyolojide uzun süredir devam eden bir sorun olmuştur ve doğru protein yapısı tahmin yöntemlerinin geliştirilmesi, bilim camiasının büyük ilgisini çekmiştir. AlphaFold, önce bir proteinin yerel yapısını tahmin ettiği ve ardından genel yapıyı bir araya getirdiği iki aşamalı bir yaklaşım kullanır. AlphaFold, iki yılda bir yapılan CASP (Yapı Tahmininin Kritik Değerlendirmesi) deneylerinde diğer son teknoloji yöntemleri geride bırakarak çok çeşitli proteinlerin yapısını tahmin etmede kayda değer bir başarı elde etmiştir. AlphaFold'un tahminlerinin doğruluğu, protein işlevini ve hastalık mekanizmalarını, ilaç keşfini ve sentetik biyolojiyi anlamak için önemli etkilere sahiptir. Bu derlemede, AlphaFold'un geliştirilmesine, temel metodolojisine ve CASP deneylerindeki performansına genel bir bakış sunulmaktadır. Ek olarak, AlphaFold'un protein mühendisliği, ilaç keşfi ve yapısal biyolojideki potansiyel uygulamaları da tartışılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** AlphaFold, makine öğrenmesi, protein katlanması, protein yapı tahmini.

### Abstract

AlphaFold is a protein folding prediction tool developed by the DeepMind team, which leverages deep neural networks and advanced machine learning techniques to predict the three-dimensional structure of a protein sequence. The prediction of protein folding has been a long-standing challenge in computational biology, and the development of accurate protein structure prediction methods has been of great interest to the scientific community. AlphaFold employs a two-stage approach, in which it first predicts the local structure of a protein and then assembles the global configuration. AlphaFold has achieved remarkable success in predicting the structure of a wide range of proteins, outperforming other state-of-the-art methods in the biennial CASP (Critical Assessment of Structure Prediction) experiments. The accuracy of AlphaFold's predictions has significant implications for understanding protein function and disease mechanisms, drug discovery, and synthetic biology. This review provides an overview of AlphaFold's development, basic methodology, and performance in CASP experiments. Moreover, potential applications of AlphaFold in protein engineering, drug discovery, and structural biology are also discussed.

**Keywords:** AlphaFold, machine learning, protein structure prediction, protein folding.

<sup>1</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoteknoloji Doktora Programı, Bilecik, Türkiye.  
[burcutekinofficial@gmail.com](mailto:burcutekinofficial@gmail.com), [Orcid.org/0000-0003-4177-2245](https://orcid.org/0000-0003-4177-2245).

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye.  
Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye.  
[rafig.gurbanov@bilecik.edu.tr](mailto:rafig.gurbanov@bilecik.edu.tr), [Orcid.org/0000-0002-5293-6447](https://orcid.org/0000-0002-5293-6447).

## 1.GİRİŞ

Doğal olarak evrim geçirmiş proteinler, ince ayarlı üç boyutlu yapıları sayesinde şaşırtıcı çeşitlilikteki moleküler işlevleri sergilerler. Proteinlerin üç boyutlu yapıları, genetik olarak kodlanmış amino asit dizileri tarafından belirlenir (Kuhlman & Bradley, 2019). Amino asit dizisi ile protein yapısı arasındaki ilişkinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, genom dizisi verilerinden fonksiyon tahmini yapmak ve belirli yöntemlerle amino asit dizilerinin tasarımı yoluyla yeni protein işlevlerinin rasyonel mühendisliğini mümkün kılarak yeni olanaklar sağlamaktadır.

Ancak, bir proteinin nasıl katlandığının belirlenmesi, moleküler biyolojinin en karmaşık sorunlarından biridir (Dill & MacCallum, 2012) ve bu sürecin anlaşılması, tıp, biyoteknoloji ve ilaç keşfi alanları için oldukça önemlidir. Son yıllarda proteinlerin üç boyutlu yapılarının tahmini ve tasarımı alanlarında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Birçok alanda kullanılan yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları, temel amino asit dizilerinden protein yapılarının tahmin edilmesinde de kullanılmaya başlanmış ve bu alanda önemli gelişmeler yaşanmıştır (Pakhrin ve ark., 2021). Bununla birlikte yıllar içerisinde protein yapılarının tahmin edilmesinde bulunan teknolojik yenilikler de yapay zeka tabanlı çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu yenilikler arasında proteinlerin enerji fonksiyonlarının anlaşılması (Faure ve ark., 2022; Gasic ve ark., 2021), Protein Data Bankası (PDB) (<https://www.rcsb.org/>) (Burley ve ark., 2022) gibi veri tabanlarında deneysel olarak yapısı belirlenmiş protein sayısındaki artış, protein modelleme algoritmalarının (Li ve ark., 2022) çoğalması ve algoritmaları oluşturacak/çalıştıracak bilgisayar tabanlı güçlerin (CPU ve GPU) artması sıralanabilir. Dahası yeni nesil sekanslama teknikleri ile birlikte artan genom bilgisi ve metagenomik çalışmalar da amino asit dizilerinden proteinlerin yapılarının tahmin edilmesinde ilk kaynağı oluşturularak alandaki gelişmelere hız kazandırmıştır (Chen ve ark., 2016; Kuhlman & Bradley, 2019).

Bu çalışmada, proteinlerin katlanması, amino asit dizilerinden protein yapılarının tahmin edilmesi ve amino asit dizisinden protein yapısını tahmin etmek için derin öğrenme tabanlı bir sinir ağı yaklaşımı kullanan AlphaFold teknolojisinin çalışma prensibi ve pratik uygulamaları geniş bir kapsamda derlenmiştir.

## 2. PROTEİN KATLANMASI

Proteinlerin üç boyutlu yapılarına katlanma süreci, moleküler biyoloji alanındaki en karmaşık problemlerden biridir ve bu sürecin anlaşılması, hayatın yapı taşı olan proteinlerin işlevlerini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır. Proteinler, kimyasal reaksiyonları katalizlemeden hücreler arasında sinyal iletimine kadar birçok biyolojik işlevi yerine getiren önemli moleküllerdir. Bir proteinin işlevi, onu oluşturan amino asit dizisi tarafından belirlenen benzersiz üç boyutlu yapısına bağlıdır.

Proteinler olmaları gereken üç boyutlu konformasyona spontane olarak katlanabilme yeteneğine sahiptirler. Yeniden katlanma deneyleri, bir proteinin katlanmış şeklini (doğal formu) belirlemek için gerekli bilginin tamamen onun lineer amino asit dizisinde bulunduğunu ortaya koymuştur (Anfinsen ve ark., 1961; Lumry & Eyring, 1954). Anfinsen'in termodinamik hipotezine göre proteinlerin katlanma bilgisi polipeptit zincirinin enerji düzeyine göre ayarlanmaktadır. Deneye göre bir proteinin doğal (katlanmış) formunun sahip olduğu termodinamik enerji kararlılığı en düşük serbest enerji düzeyidir (Anfinsen & Scheraga, 1975; Anfinsen, 1973).

Protein katlama işlemi, hidrofobik etkileşimler, elektrostatik etkileşimler, hidrojen bağı ve van der Waals kuvvetleri dahil olmak üzere fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin karmaşık bir etkileşimi tarafından yürütülür (Bolen & Baskakov, 2001). Bu kuvvetler, protein zincirini, proteinin en

kararlı ve biyolojik olarak aktif durumunu temsil eden en düşük enerji konformasyonuna yönlendirir.

Suda çözünür, küresel proteinlerin katlanmasını destekleyen itici gücün, hidrofobik amino asit yan zincirlerinin sudan uzağa gömülmesi olduğu düşünülmektedir; katlanma, esnek bir polipeptit zincirinin tanımlanmış bir üç boyutlu konformasyona doğru evrilmesine eşlik eden konfigürasyonel entropinin kaybıyla karşı karşıyadır (Dill, 1990). Protein çekirdeğindeki polar olmayan yan zincirlerin sıkı bir şekilde paketlenmesi, çekici van der Waals etkileşimlerini geliştirir ve entropik olarak elverişsiz iç boşlukları ortadan kaldırır (Burley & Petsko, 1988). Bunun yanında, katlanma sırasında polar grupların proteinin iç kısımlarında gömülü kalmasından dolayı su ile etkileşimde bir açık meydana gelir. Bu açık protein içi hidrojen bağların ve tuz köprülerinin oluşumları ile telafi edilir. Bu etkileşimler proteinin kararlılığından çok proteinin özgülüğünün belirlenmesine katkı sağlar (Xu ve ark., 2020).

Biyolojide protein katlanmasının merkezi önemine rağmen, bir proteinin doğal katlanmış yapısını tahmin etmek temel bir zorluk olmaya devam etmektedir. Bunun nedeni kısmen, bir proteinin katlanabileceği olası yolların sayısının, belirli bir protein için astronomik düzeyde (Levinthal Paradoksu) büyük olmasıdır (Levinthal, 1969; Zwanzig ve ark., 1992). Ayrıca, katlama işlemi tam olarak anlaşılabilir değildir. Şaperon proteinleri, translyasyon sonrası modifikasyonlar, pH ve sıcaklık gibi çevresel koşullar dahil olmak üzere birçok faktör proteinin katlanmasını etkileyebilir (Salahuddin ve ark., 2016).

Son birkaç on yılda, protein yapısını amino asit dizisinden tahmin etmek için hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu yöntemler, deneysel verilerle tutarlı bir dizi olası protein yapısı oluşturmak için ampirik modellerin, moleküler dinamik simülasyonlarının ve makine öğrenimi algoritmalarının bir kombinasyonuna dayanır (Pearce & Zhang, 2021). Bununla birlikte, en gelişmiş yöntemlerin bile, özellikle daha büyük ve daha karmaşık proteinler için doğrulukları hala sınırlıdır. Protein yapılarını tahmin etme becerileri geliştirmek, hastalık mekanizmalarını, ilaç keşfini ve biyoteknolojiyi anlamak için önemlidir. Araştırmacılar, katlanma sürecini daha iyi anlayarak ve daha doğru hesaplama yöntemleri geliştirerek, proteinlerin işlevine ilişkin yeni içgörülerin kilidini açabilir ve çok çeşitli hastalıklar için yeni tedaviler geliştirebilirler.

### 3. PROTEİN YAPI TAHMİNİ

Canlı organizmalarda en yaygın olarak bulunan proteinler sahip oldukları spesifik özellikleri ve karmaşık yapıları nedeniyle akademik çalışmalarda büyük ilgi görmektedir. Proteinlerin yapısını ve işlevini ortaya çıkarmada çeşitli ileri deneysel teknikler kullanılmaktadır. Deneysel olarak yapısı belirlenen protein verileri barındıran Uniprot (Evrensel Protein Veri Bankası) ("UniProt: the universal protein knowledgebase in 2021," 2021; "UniProt: the Universal Protein knowledgebase in 2023," 2023) ve PDB'de (Burley ve ark., 2022) veri sayısı her yıl katlanarak artmaktadır. Ancak gelişen gen sekanslama yöntemleri ile proteinlere ait amino asit dizi verileri daha büyük bir hızla artmaktadır. Deneysel olarak proteinlerin yapılarını ortaya çıkarmada kullanılan X-ışını kristalografisi ve NMR (Nükleer manyetik rezonans) gibi yöntemler zaman, kaynak ve iş gücü tükettiğinden artan günümüzde protein sekanslarının yapılarını belirlemede yetersiz kalmaktadır (Marx, 2022).

Mart 2023 (<https://www.rcsb.org/>) itibarıyla PDB'de deneysel olarak tanımlanmış 200.000'i aşkın protein yapısı olmasına rağmen; bu rakam Uniprot'ta (<https://www.uniprot.org/>) bulunan protein genlerine ait verinin çok küçük bir kısmını karşılamaktadır. Büyüyen ihtiyaçla birlikte, proteinlerin üç boyutlu yapısını tahmin edebilen biyogisayar tabanlı yöntemlerde artmaktadır. Bu yöntemler

çalışma prensiplerine göre farklılık göstermektedir. Protein yapı tahmininde kullanılan bilgisayar tabanlı metotlar iki ana başlık altında toplanabilir (Kuhlman & Bradley, 2019). Bunlardan ilki PDB’de bulunan protein yapılarını kullanan şablon tabanlı (template-based) metottur. Kısaca özetlenirse, şablon tabanlı protein yapı tahmininde yapısı hedeflenen proteine homolog olan protein yapıları PDB üzerinde taranır ve bulunan homolog yapılara bağlı olarak protein yapı tahmini oluşturulur (de Almeida Paiva ve ark., 2022). Homoloji modelleme, karşılaştırmalı modelleme ve bilinen protein yapıları ile hizalamaya dayanan (threading) metotlar, şablon tabanlı protein yapı tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır (Arnold ve ark., 2006; Waterhouse ve ark., 2018).

Şablon tabanlı yöntemler , homolog protein yapılarının bulunma durumuna dayanırken, şablon tabanlı olmayan (template-free) yöntemler, bilinen herhangi bir protein yapısına ihtiyaç duymadan hedeflenen proteinin üç boyutlu yapısını tahmin etmeyi amaçlar (Dhingra ve ark., 2020). Bu yöntem genellikle uygun şablonlar (homolog protein yapıları) bulunmadığında veya yapısı hedeflenen protein bilinen yapılardan oldukça farklı olduğunda oldukça yararlıdır.

Yapısı bilinen bir proteine ait veri şablon olarak kullanılmadığında hedeflenen proteinin yapısını tahmin etmek için elektrostatik, van der Waals kuvvetleri ve hidrojen bağı gibi temel ilkeler kullanılır (Dhingra ve ark., 2020). Bu yöntemler belirli bir protein dizisinin en düşük enerji konformasyonunu belirlemek için enerji minimizasyonu algoritmalarını kullanmaktadır. Önceki bölümde de bahsedildiği gibi proteinin en düşük enerjili konformasyonunu bulmak için denenmesi gereken geniş konformasyonel olasılıklar bulunur. Ek olarak yapısı hedeflenen proteinin en düşük enerjiye sahip konformasyonunu araştırmada moleküler dinamik simülasyonlar (Jiang & Wu, 2014) ve Monte Carlo (Ovchinnikov ve ark., 2016) yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir proteinin yapısını tahmin etmede kullanılan bir diğer yöntem ise, yapısı belirli olan proteinlerin yapılarının istatistiksel analizini kullanmaktır. Bu yöntemin temelinde yatan bilgi, protein ikincil yapı elemanları ve protein kıvrımları gibi korunmuş yapısal özelliklerine dayanmaktadır (Marks ve ark., 2012; Yang ve ark., 2020).

Son yıllarda, şablon tabanlı olmayan yöntemler arasında makine öğrenimi destekli uygulamalar popülerlik kazanmıştır. Makina öğreniminde kullanılan yapay zeka (artificial intelligence/AI) verilerdeki kalıpları öğrenmek ve bu verilere dayalı tahminler yapmada çeşitli algoritmalar kullanır. Yapay zeka, protein dizileri ve üç boyutlu yapılardaki kalıpları öğrenerek hedeflenen proteinin yapısını tahmin edebilir. Makina öğrenimi algoritmalarına sinir ağları, karar ağaçları, rasgele ormanlar ve vektör makinaları örnek verilebilir (AlQuraishi, 2021; Jisna & Jayaraj, 2021). Bu algoritmalar çeşitli veri setleri ile eğitilebilir algoritmalarlardır. Amino asit dizileri, protein üç boyutlu yapıları, NMR veya X-ışını kristalografisi verileri gibi çeşitli deneysel veriler bu algoritmalar için eğitici kaynaklardır (Perrakis & Sixma, 2021).

Makine öğrenmesine dayalı protein yapı tahmini için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri ters katlanmadır (inverse folding) (Hsu ve ark., 2022). Ters katlanma yönteminde hedef istenen bir yapıya katlanacak protein dizisini tahmin etmektir. Bu yaklaşım varyasyonel otokodlayıcı veya üretken çekişmeli ağ gibi modelleri kullanır (Ongie ve ark., 2020). Modeller belirli bir yapıya katlanması muhtemel protein dizilerinin dağılımını öğrenir ve bu dağılımı kullanarak hedef yapıya benzer yeni diziler oluşturur.

Başka bir makina öğrenmesi temelli yaklaşım, derin öğrenme modeli ile etkileşim tahminidir. Bu yöntem, bir proteinin üç boyutlu yapısında bulunan amino asitlerin kendi arasında oluşturabilecekleri etkileşimleri tahmin eder (Li ve ark., 2023). Evrişimli sinir ağları veya tekrarlayan sinir ağları gibi derin öğrenme modelleri, protein dizilerindeki amino asitlerin etkileşimlerini tahmin etmede kullanılmaktadır (Jisna & Jayaraj, 2021; Pakhrin ve ark., 2021). Bu modeller, sonuçlanması muhtemel amino asit etkileşimlerini öğrenerek hedeflenen proteinin yapı

tahminini oluşturabilir. Dahası, sinir ağları ile kalıntılar arası mesafe haritaları oluşturulabilir, proteindeki burulma açıları ve protein zincirindeki dihedral açılar tahmin edilebilmektedir (Gogoi ve ark., 2023; Shen & Bax, 2013). Yukarıda açıklanan tüm bu makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmin edilen değerler daha sonra bir proteinin üç boyutlu yapısını ortaya çıkarmada kullanılmaktadır.

### 3.1. Protein Yapısı Tahmin Deneylerinin Kritik Değerlendirmesi

Protein Yapısı Tahmin Deneylerinin Kritik Değerlendirmesi (CASP) protein yapısının modellenmesinde en iyi uygulamaları belirlemek için iki yılda bir tekrarlanan uluslararası yarışmadır (Kryshtafovych ve ark., 2019). CASP deneyleri ilk olarak 1994 yılında John Moult tarafından başlatılmıştır (Marx, 2022). Yarışma kapsamında katılımcılara hedef proteinlerin amino asit dizileri verilir ve hedef proteinlere ait üç boyutlu modellerin oluşturulması istenir. Bağımsız değerlendiriciler farklı uygulamaların tahmin ettiği protein yapılarını karşılaştırır. Katılımcıların hedef proteinlerin deneysel yapılarına erişimleri yoktur ve değerlendirmeyi yapan görevliler sunumu yapılan yöntemlerin kimliğini bilmezler. CASP'ta değerlendirilen kriterler arasında, protein yapı modellerine ek olarak, deneysel yapıya yakın uygulamaların iyileştirilmesi, genel bir saptaması, yapı modelinin ve her bir kalıntının doğruluğunun değerlendirilerek bunun yanında protein oligomerlerinin yapısının modellenmesi, çeşitli seyrek veri türlerini kullanarak modelleri geliştirme yeteneği ve işlevi belirlenen proteinin yapısal özelliklerinin doğruluğu gösterilebilir.

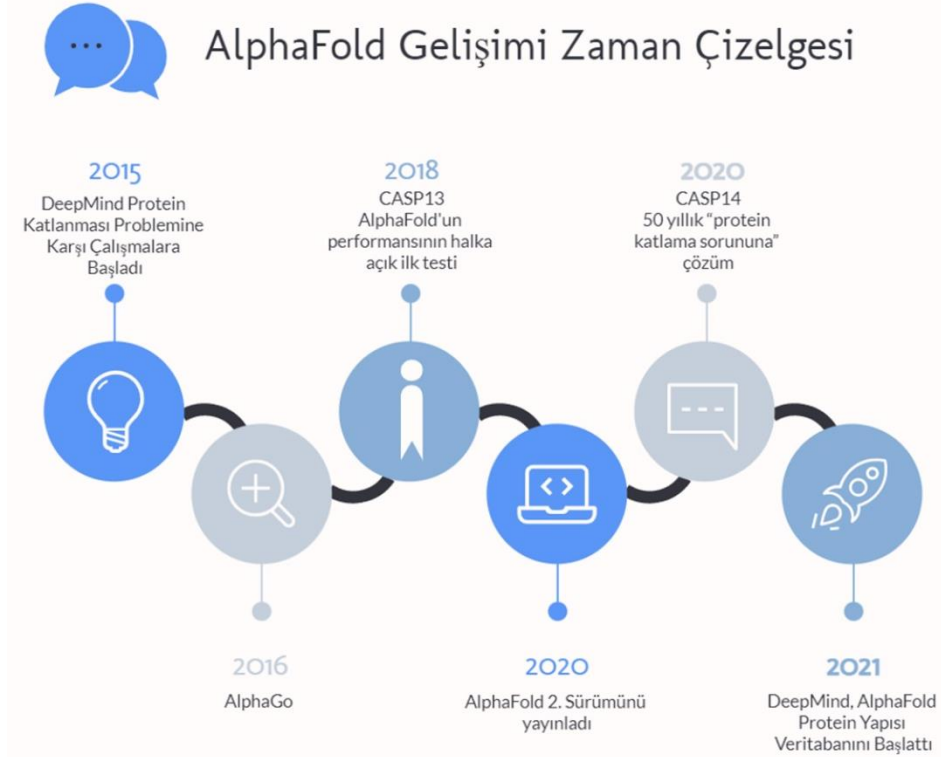
CASP deneylerinin en önemli amacı protein yapı tahmininde şablon temelli olmayan uygulamaların gelişimini desteklemektir. CASP deneylerinin en son versiyonu CASP15 (Cheng ve ark., 2023) 2022 yılında yapılmıştır ve önceki yıllara ait verilerde dahil olmak üzere yarışmaya katılan uygulamalar Protein Yapı Tahmin Merkezi'nin sitesinde ([www.predictioncenter.org](http://www.predictioncenter.org)) herkese açık şekilde yayınlanmaktadır.

## 4. ALPHAFOLD'UN TARİHSEL GELİŞİMİ

AlphaFold, DeepMind tarafından geliştirilmiş, proteinlerin üç boyutlu yapısını dikkate değer bir doğrulukla tahmin edebilen, derin öğrenme tabanlı bir algoritmadır. AlphaFold'un gelişim sürecinin başlaması 2015 tarihine kadar dayanır (Hey ve ark., 2020) (Şekil 1). Google'un sahibi olduğu DeepMind bu tarihte protein katlanması problemi üzerine makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak çalışmaya başlamıştır. Bunu takip eden 2016 yılında yine DeepMind'in geliştirdiği bir makine öğrenmesi algoritması olan AlphaGo bilgisayar sistemlerinin kazanması en zor olan Go oyununu dünya şampiyonuna karşı kazanaak etkinliğini kanıtlamıştır (Li & Du, 2018). DeepMind'in elde ettiği bu başarı aynı algoritmanın protein katlanması problemi içinde kullanılabileceğini düşündürmüştür. Dolayısıyla, AlphaGo'daki aynı algoritma geliştirilerek protein katlanması problemi üzerine çalışan AlphaFold geliştirilmiştir.

AlphaFold'un tanıtılması ve gelişimi 2018 yılında DeepMind'in CASP13 yarışmasına katılacağını duyurması ile başlamıştır. CASP13 deneyinde AlphaFold dikkat çekici bir performans elde ederek proteinlerin üç boyutlu yapılarını yüksek bir doğrulukla tahmin etmiştir (AlQuraishi, 2019). AlphaFold'un CASP13'te elde ettiği RMSD (kök-ortalama-kare sapması) değerleri protein domainlerin için 1.6 angstrom ve tüm bir protein için 2.1 angstrom olarak hesaplanmıştır. RMSD değeri tahmin edilen protein yapısının, aynı proteinin deneysel olarak belirlenen yapısına olan benzerliğinin bir ölçütüdür. Bu değer küçük olması algoritmanın protein tahminindeki başarısını sergilemektedir (Kufareva & Abagyan, 2012).

CASP13'te elde ettiği başarının hemen ardından DeepMind AlphaFold ile ilgili makalesini *Nature* dergisinde yayınlarak algoritmanın mimarisini ve performansını açıkladı (Senior ve ark., 2020). Böylece AlphaFold'un proteinlerin üç boyutlu yapısını X-ışını kristalografisi gibi deneysel teknikler ile karşılaştırılabilir bir doğrulukta tahmin edebildiğini akademik camiaya duyurdu. İlerleyen yıllarda AlphaFold'un algoritması dahada geliştirilerek bir üst versiyon olan AlphaFold2 sürümü yayınlandı. CASP14 (2020) deneyinde test edilen AlphaFold2 önceki versiyonunun çok üzerinde bir başarı elde ederek CASP14'ü büyük bir farkla kazandı (Kryshtafovych, ve ark., 2021). AlphaFold2 önceki versiyonundan üç kat daha doğrulukta 1 angstrom RMSD değerinden daha küçük bir hata ile hedeflenen potenin yapısını tahmin etmeyi başardı. Bu büyük başarının ardından AlphaFold2 CASP düzenleyicileri tarafından, 50 yıldır üzerine çalışılan protein katlanma sorununa bir çözüm olarak kabul edildi (Jumper ve ark., 2021).



Şekil 1. DeepMind AlphaFold'un Tarihsel Gelişimi

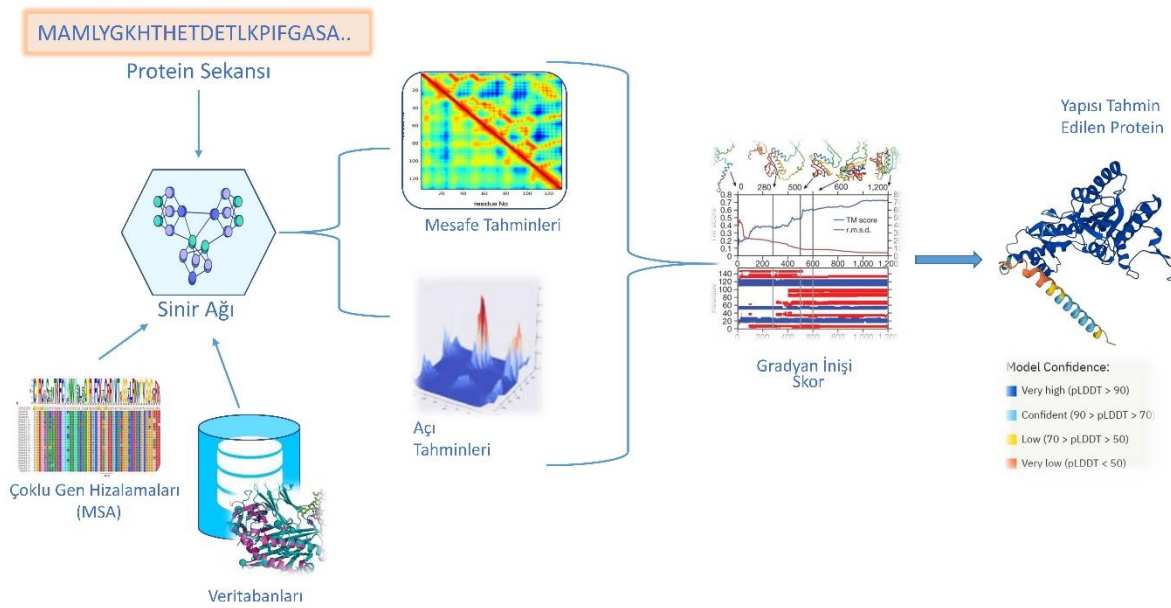
AlphaFold2'un CASP14'teki başarısının *Nature*'de (Jumper ve ark., 2021) yayınlanmasının hemen ardından, DeepMind ikinci bir makale ile neredeyse tüm insan proteomunu tahmin ettiğini gösterdi (Tunyasuvunakool ve ark., 2021). Bununla birlikte, DeepMind EMBL-EBI (Avrupa Moleküler Biyoloji Laboratuvarı-Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü) ile yaptığı ortaklık sonucu AlphaFold Protein Yapısı Veritabanı'nı ([www.alphafold.ebi.ac.uk](http://www.alphafold.ebi.ac.uk)) kullanıma açık olarak başlattı. Kullanıma açıldığı tarihten itibaren AlphaFold Protein Yapısı Veritabanı'nın (AlphaFold DB) sahip olduğu veri miktarı sürekli artmaktadır. Sadece insan proteomuna ait veriler değil, bunun yanında diğer bir çok organizmaya ait protein yapıları veritabanı üzerinde mevcuttur. Günümüzde, AlphaFold DB bilimsel çalışmalara katkı sağlamak ve bu çalışmaları hızlandırmak için 200 milyondan fazla proteinin tahmin edilmiş yapılarına açık erişim sağlamaktadır.

AlphaFold'un geliştirilmesi protein tahmini alanında büyük bir ilerleme olarak kabul edilebilir ve hesaplamalı biyoloji dışındaki alanlarda da önemli kullanımları olabilir. AlphaFold'un başarısı, derin öğrenme algoritmalarının gücünün ve onlarca yıllık araştırmalar sonucunda üretilen büyük miktarda verinin bir kanıtıdır. Derin öğrenme algoritmalarının protein yapı verileriyle entegrasyonu, proteinlerin üç boyutlu yapılarının eşi benzeri görülmemiş bir doğrulukla tahmin

edilmesini sağlamıştır. Bu gelişme, ilaç keşfi ve tasarımı için yeni olanaklar sunmaktadır. Dahası, AlphaFold, protein fonksiyonu ve dinamiğinin çalışılmasını hızlandırarak moleküler düzeyde yaşamın temel mekanizmalarına dair bilgiler sağlamaktadır.

#### 4.1. AlphaFold'un Çalışma Prensibi

AlphaFold, proteinlerin doğru bir şekilde katlanma yapılarını tahmin etmek için, çoklu dizi hizalaması kalıntı-kalıntı uzaklık tahmini ve parça montajı (fragment assembly) yöntemlerini içeren bir derin sinir ağı algoritması kullanır (Senior ve ark., 2020). Bu sayede protein dizilerindeki amino asit kalıntıları arasındaki karmaşık etkileşimleri modelleyebilir; bu bilgileri evrimsel ve biofiziksel olaylarla birleştirebilir. AlphaFold algoritmasının eğitilmesi için veriler esas olarak PDB'den gelir. AlphaFold'un ilk versiyonu genel olarak basit bir algoritma mimarisine sahiptir (Şekil 2). Tüm sistem, çoklu dizi hizalamaları oluşturmak için, hedef proteinin amino asit dizisine benzer dizileri çeşitli veritabanları üzerinden bulma işlemi ile başlar (Senior ve ark., 2020).



Şekil 2. AlphaFold Versiyon 1 Çalışma Prensibinin Şematik Gösterimi

Çoklu dizi hizalamalarının sistem için önemini kavramada bazı bilgilerin bilinmesi önemlidir. Bir proteinin üç boyutlu yapısı, belirli bir proteini kodlayan genetik diziden çok daha karardır. Bir proteini oluşturan spesifik amino asitlerdeki mutasyonlar doğada oldukça yaygındır, ancak yapıdaki değişiklikler çok daha nadirdir (Romero & Arnold, 2009). Canlı organizmaların çoğu ortak bir atadan türemiştir. Bu nedenle yapılarındaki tüm biyolojik işlevleri yerine getiren proteinler ortak ataya sahip canlılar arasında çok benzer şekillere sahip olacaklardır. Çünkü oksijen transportu gibi aynı temel biyolojik işlevleri nesiller boyunca evrimsel ekonomi ilkelerine uyumlu şekilde sürdürmeleri gerekmektedir. Eğer bir mutasyon, bir proteinin katlanmış halindeki şeklini önemli ölçüde etkiliyorsa, bu proteinin işlevini yerine getirme kabiliyeti kaybolacak ve bu durum, organizmanın hayatta kalma şansını azaltabilecektir. Bu nedenle, doğal seçim, organizmaların uygunluğuna etki ederek bu tür mutasyonlara sahip bireyleri popülasyondan ayıklayacak ve zararlı alellerin sonraki nesillere aktarılmasını engelleyecektir. Protein yapısını ciddi şekilde etkileyen mutasyonlar, protein fonksiyonunu bozarak doğal seçim tarafından ortadan kaldırıldığından, sadece protein yapısını önemli ölçüde etkilemeyen mutasyonlar hayatta kalabilir. Bu nedenle, protein kodlayan bölgelerde meydana gelen mutasyonların çoğunluğunun nötr veya neredeyse nötr olduğu, sadece küçük bir kısmının protein yapısı ve fonksiyonu üzerinde önemli etkilere sahip olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, ortak bir atadan türeyen çok sayıda türdeki belirli bir

proteinin dizilimlerinin karşılaştırılması, proteinin evrimsel tarihine ilişkin değerli bilgiler sağlar (Ponting & Russell, 2002). Bu evrimin bir sonucu olarak, ilgili protein dizilerinin güçlü yapısal benzerliklere sahip olması beklenmektedir. Çoklu dizi hizalamaları, bu benzerlikleri saptamak için güçlü bir araç olarak hizmet eder ve protein yapısı/işlevinde önemli roller oynayabilen korunmuş kalıntıların ve motiflerin tanımlanmasına olanak tanır (Thompson ve ark., 2001). Dolayısıyla bu hizalamalar, proteinlerin yapısal özelliklerini tahmin etmek için değerli bilgiler sağlayabilir; protein katlanması ve kararlılığını hesaplamak için geliştirilen modellere bir temel girdi olarak hizmet edebilir.

AlphaFold'un ilk sürümü, hedef amino asit dizisini kullanarak ilgili türlerdeki evrimsel eşleşmeleri bulmak için çeşitli veritabanlarını taramaktadır. Çoklu dizi hizalamalarından elde edilen bilgiler, ek girdi özellikleri ile işlenerek yeniden şekillendirilir ve bir iki boyutlu diziyeye dönüştürülür (Senior ve ark., 2020). Bu dizi, ResNet adı verilen ve görüntü sınıflandırması (He ve ark., 2016) gibi işlemler için kullanılan derin rezidüel konvolüsyonel sinir ağına beslenir. ResNet'in ana hedef çıktısı, öngörülme çalışılan proteinin distogramıdır. Distogram, proteinin üç boyutlu yapısında birbirleriyle temas halinde olma olasılığı olan her amino asit çiftinin birbirine olan uzaklığını tahmin eden bir olasılıksal ölçüdür (Senior ve ark., 2020). AlphaFold, hedef distogramı doğrudan tahmin etmek yerine, mesafelerin olası dağılımını tahmin eden bir yaklaşım sergiler. Bu yaklaşımda, iki boyutlu distogram matrisindeki her bir piksel için AlphaFold, 64 farklı mesafe aralığı üzerinden bir olasılık dağılımı tahmin etmektedir. Bu yöntem, modelin belirli kalıntılar arasındaki mesafe hakkında ne kadar emin olduğunu tahmin etmek için oldukça faydalıdır. Nihai olarak, tahmin edilen bu distogram dağılımı, proteinin üç boyutlu şeklini elde etmek için kullanılmaktadır.

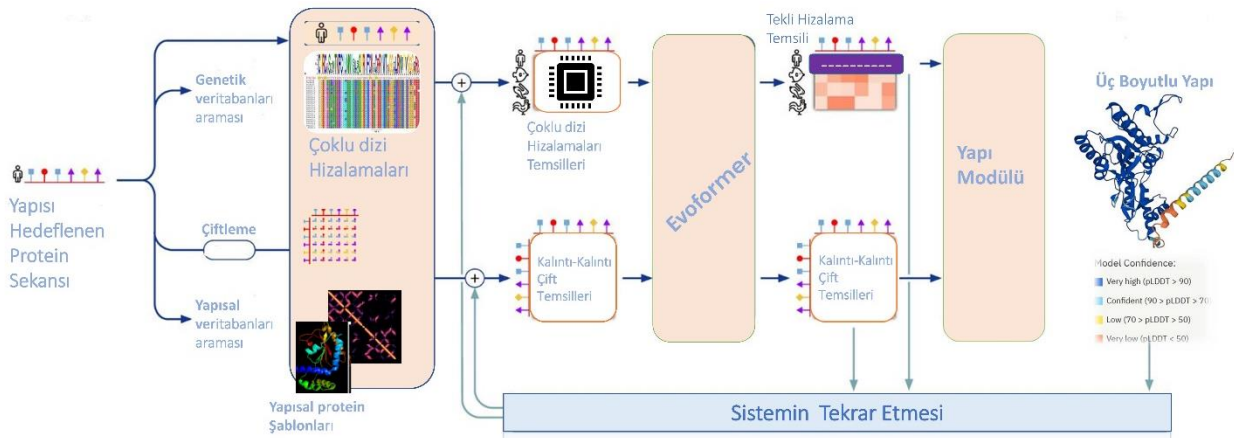
Dahası, AlphaFold1, protein yapılarının keşfedilmesinde kullanılan bir yaklaşım olan gradyan inişi yöntemini kullanır. Bu yöntem, her bir ardışık kalıntı arasındaki phi ve psi açılarına dayalı olarak parametre edilmiş bir protein zincirinin fiziksel modelinin oluşturulması ile başlar. Ardından, bu omurga (protein backbone) geometrisi, bir sinir ağı tahmini ile birleştirilmiş bir dizi fiziksel simüle edilmiş kuvvetleri kullanan bir skorlama fonksiyonu ile iteratif olarak iyileştirilir. Bu yöntemin amacı, modelin tahminlerinin fiziksel gerçeklikle uyumlu olmasını sağlamaktır (Senior ve ark., 2020). Özetlenecek olursa, AlphaFold1, öncelikle ilgili türdeki organizmaların protein dizileri arasında çoklu dizi hizalaması yapar. Daha sonra, distogram dağılımını doğrudan tahmin etmek yerine, bir ortakalan sinir ağı kullanarak distogram dağılımını tahmin eder. Bu, iki kalıntı arasındaki mesafe hakkında modelin ne kadar emin olduğunu ölçer. Son olarak, tahmin edilen distogram dağılımı bir dizi fiziksel kuvvet ile birlikte kullanılarak proteinin omurga geometrisi tekrarlanan bir şekilde optimize edilir.

AlphaFold'un ilk versiyonundan farklı olarak, AlphaFold2 üç bileşenden oluşan farklı bir mimariye sahiptir (Şekil 3) (Jumper ve ark., 2021). İlk bileşen olan pre-processing stage (ön işlem aşaması), hedef protein dizisinin hakkında ek bilgi almak için harici veritabanlarını sorgular ve bu bilgiyi kullanarak çoklu dizi hizalaması ve çift temsillemesi oluşturur. İkinci bileşen olan evoformer, çoklu dizi hizalamasını ve çift temsillemesini güncelleyen ve ince etkileşimleri yakalayan 48 katmanlı bir dönüştürücü benzeri ağıdır. Üçüncü bileşen olan yapı modülü, evoformer tarafından oluşturulan soyut temsili alır ve proteinin somut üç boyutlu koordinatlarına dönüştürür.

AlphaFold2, ilk versiyonuyla benzer olarak; benzer evrimsel dizilimleri genetik veritabanında arayarak öncelikle çoklu dizi hizalaması oluşturur. Bunun yanı sıra, hedef protein gen dizilimi ile benzer dizi parçalarına sahip olan bilinen protein yapılarını, yani yapısal şablonları da arar. Eğitim süreci sırasında AlphaFold2, yapısal şablonları, bazen modelin çok zayıf veya hiç şablon almamasına neden olacak şekilde örnekler. Bu yaklaşım, ağın bir çıktı yapısı oluşturmak için basitçe iyi bir girdi şablonunu kopyalamaya güvenememesine neden olur; bunun yerine sistem dizi bilgisinden öğrenmeye zorlanır. AlphaFold2 daha sonra giriş dizisinden, çoklu dizi



hizalamasından ve şablon yapılarından gelen tüm bilgileri, sonrasında daha fazla ayrıntılandırma için kullanılan bir çift gösterime ve bir çoklu dizi gösterimine entegre eder. Verilerin fazlalığı nedeniyle, önışleme aşaması genellikle birkaç kez tekrarlanır ve farklı çift ve çoklu dizi temsilleri oluşturulur. Bu temsiller daha sonra yapı modülüne aktarılmadan önce birleştirilerek ortalaması alınır (Şekil 3).



Şekil 3. AlphaFold Versiyon 2 Network Yapısının Şematik Bir Gösterimi

AlphaFold2'nun ikinci bileşeni olan Evoformer (Jumper ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022), çoklu dizi ve çift temsillerinden gelen bilgileri iteratif olarak geliştirmek için tasarlanmış 48 bloktan oluşan bir derin sinir ağıdır. Bu bloklar, her iki temsil türünden gelen girdi ve çıktıları işlemektedir. Evoformer, yapısal modülün aksine, tekrarlayan bir ağı değildir. Katmanları, girdi aşamasından gelen protein temsillerinin güncellenmesini optimize etmek için teknik aşamaları içerir. İki mod arasındaki bilgi alışverişi yoluyla, Evoformer, proteinlerdeki uzamsal ve evrimsel ilişkiler hakkında doğrudan veri elde etme olanağı sağlar.

AlphaFold2'nin son bölümü olan yapı modülü, Evoformer yığınının çıktısını alan ve onu üç boyutlu protein yapısına dönüştüren bir sinir ağıdır (Jumper ve ark., 2021). Yapı modülüne girdisi, Evoformer'dan elde edilen nihai çoklu dizi hizalama gösteriminin ilk satırı ve çift gösterimidir. Yapı modülü (Jumper ve ark., 2020), aynı ağırlıkları paylaşan 8 ağı katmanından oluşur ve proteinin üç boyutlu yapısını yinelemeli olarak iyileştirmek için tekrarlayan bir sinir ağı mimarisi kullanır. Ağı, küresel bir referans çerçevesine göre her kalıntı için bir dizi bağımsız dönüş ve öteleme olarak temsil edilen, proteinin somut bir üç boyutlu omurgası üzerinde çalışır. Omurga, tahmin edilen bir amino asit dizisine dayalı olarak inşa edilir ve ağı eğitim süreci sırasında yinelemeli olarak rafine edilir. Tekrarlayan ağı her yinelemesinde yapı modülü, omurga atomlarının konumlarını, yan zincir yönelimlerini ve kalıntılar için atomik konumları tahmin ederek proteinin üç boyutlu yapısını oluşturur (Jumper ve ark., 2020). Ağı çıktısı, atomik düzeyde doğru olan protein için tahmin edilen bir üç boyutlu yapıdır. Genel olarak, AlphaFold2'nin yapı modülü, protein yapılarını olağanüstü hız ve doğrulukla doğru bir şekilde tahmin ederek protein yapısı tahmini alanında devrim yaratan güçlü bir araçtır.

#### 4.1.1. AlphaFold2 algoritma eğitimi

AlphaFold2, en önemlisi çerçeve hizalı nokta hatası (Fape) (Evans ve ark., 2021) kaybı olmak üzere dört farklı kayıp bileşeninin bir kombinasyonu kullanılarak eğitilmiştir. Fape, tahmin edilen yapının atom koordinatlarını temel gerçeklik yapısınıninkilerle karşılaştırmak için tasarlanmıştır, ancak her yerel kalıntı çerçevesi için farklı bir hizalama kullanır. Bu, yalnızca küresel koordinat doğruluğuna odaklanmak yerine her kalıntı için yerel olarak tutarlı yapılar elde etmenin önemini vurgulamaktadır. Bu yaklaşımın arkasındaki mantık, mükemmel atom koordinatlarını elde

etmenin zorlu bir görev olmasıdır ve başlangıçta doğru alt yapılara öncelik vermek ve ardından küresel yerleşimler hakkında bilgiler edinmek tercih edilir. Özünde Fape, yerel yapısal tutarlılığın önemini vurgulayarak AlphaFold2'nin doğru protein yapıları oluşturmasına yardımcı olabilecek değerli bir kayıp bileşenidir (Jumper ve ark., 2021).

Fape kaybının dışında, AlphaFold2 performansını iyileştirmek için bir dizi yardımcı kayıp kullanır. İlk olarak, son çift temsili, bir mesafe dağılımına doğrusal olarak yansıtılır ve bir çapraz entropi kaybı kullanılarak puanlanır. Evoformer, doğruluğunu artırmak için hedef distogram tarafından denetlenir. İkinci olarak, girdi çoklu dizi hizalamasına rasgele maskeleye uygulanır ve ağa, çıktı çoklu dizi hizalama temsillerini kullanarak bu maskelenmiş bölgeleri yeniden yapılandırma görevi verilir, bu da giriş çoklu dizi hizalama yığınının denetimsiz bir dil ön eğitimiyle sonuçlanır (Lin ve ark., 2023). Bu teknik, AlphaFold2'nin çoklu dizi hizalamalarındaki diziler arasındaki evrimsel ilişkileri öğrenmesine yardımcı olur. Son olarak, yapı modülünün çıkışındaki tek temsiller, pLDDT (per-residue confidence score/her bir amino asit kalite puanı) puanlarını tahmin etmek için kullanılır. AlphaFold2, her kalıntı konumu için modelleme kalitesini tahmin etmeye çalışır. Bu yardımcı kayıpların birincil amacı, modeli yerel tutarlılığa, evrimsel ilişkilere ve bireysel kalıntıların konumlarının doğruluğuna odaklanmaya yönlendirerek tahmin edilen yapıyı iyileştirmektir. Ek olarak yan zincir konumlarını daha iyi tahmin etmek ve örneğin iki atomun aynı yerde olacağı yapı ihlallerini önlemek için kullanılan iki küçük yardımcı kayıp vardır. Tüm bu farklı kayıpların temel amacı, modelin her bir ana bileşenine, eğitim sırasında her bir alt birimin amacına yönelik bir kılavuz görevi gören bireysel bir hedef eklemektir.

Protein yapısının omurgası genellikle bir kalıntı gazı olarak temsil edildiğinden, ağ tahminleri atom koordinatlarının çakışmalarına neden olabilir. Bu çakışmalar, iki kalıntının fiziksel olarak mümkün olanın ötesinde yakın olduğu tahmin edildiğinde ortaya çıkar ve tahmin edilen yapının doğruluğunu ve güvenilirliğini tehlikeye atabilir. Bu sorunu çözmek için, son tahminler üzerinde amber kuvvet alanı (Hornak ve ark., 2006) kullanarak kısıtlı enerji minimizasyonu uygulanır. Bu teknik, belirli atomların hareketlerini kısıtlayarak, serbest enerjinin en aza indirilmesi sürecini içerir ve atomların birbirlerine çok yakın hareket etmelerini önler. Böylece, yapıda kalan herhangi bir çakışma veya yapısal ihlaller giderilerek, daha doğru ve güvenilir bir tahmin ile protein yapısı elde edilir.

AlphaFold2, eğitim verilerini artırmak ve performansını yükseltmek için kendi kendine damıtma olarak bilinen bir teknik kullanmıştır. Başlangıçta AlphaFold2, PDB'deki tüm mevcut protein yapıları üzerinde eğitildi. Ardından, yapıları bilinmeyen yaklaşık 350.000 ek proteinin yapısı tahmin edildi ve bu tahmin edilen yapılar eğitim verilerine dahil edildi. Ancak sadece AlphaFold2'un yüksek hassasiyetle tahmin ettiği kalıntıların gradyan güncellemeleri kullanıldı ve modelin en güvenilir verilerden öğrenmesi sağlandı. Ek olarak AlphaFold2, modelin çıktılarını tekrar tekrar belirli modüllere geri beslemeyi içeren, geri dönüşüm adı verilen bir teknik kullandı. Bu süreç, modelin derinliğini artırdı ve tahmin edilen protein yapısının yinelemeli olarak iyileştirmesine izin vererek daha yüksek doğruluk ve kesinlik sağladı. Genel olarak, kendi kendine damıtma ve geri dönüşüm tekniklerinin kombinasyonu, AlphaFold2'un protein yapısı tahminlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini geliştirmede oldukça etkili oldu.

AlphaFold'un başarısı, tek bir çıkır açan fikre dayandırılmayacak kadar karmaşık bir sürecin sonucudur. Protein katlanmasının çözümü, birçok akıllıca tasarlanmış mekanizma ve yeni fikirlerin bir araya gelmesiyle oluşan, birçok tasarım döngüsünde sürekli olarak iyileştirilmiştir. AlphaFold ekibi, protein katlanması sorununu çözmek için sistematik bir yaklaşım benimsemiştir. Birkaç iterasyonu içeren bir geliştirme sürecine dahil olan sistem, her bir döngüde yeni fikirleri ve geliştirmeleri barındırır. Son sistem, birçok küçük geliştirmenin ve yenilikçi çözümlerin bir araya gelmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen başarı, birden fazla sofistike teknik ve tasarım unsurunun entegrasyonuna atfedilebilir. Her biri, çoklu iterasyonlar boyunca dikkatlice rafine edilmiş ve

optimize edilmiştir. Sonuç olarak, AlphaFold, mühendislik tasarımında metodik bir yaklaşımın etkinliğini gösteren mükemmel bir örnektir.

## 4.2. Protein Katlanması Tümüyle Çözüldü mü?

AlphaFold, dünyanın en yetenekli yapay zeka araştırmacıları tarafından gerçekleştirilen muazzam bir mühendislik başarısıdır. Model, özellikle tek domainli proteinlerinin yapılarını inanılmaz bir doğrulukla tahmin edebilmektedir. Bu, yapay zekanın yeni ilaçlar tasarlama, hastalık yollarını anlama, virüslerle mücadele etme ve daha birçok alanda vazgeçilmez bir araç olarak kullanılacağı tamamen yeni bir bilgisayar biyolojisi çağının başlangıcına işaret etmektedir.

Ancak AlphaFold'un doğruluğu her zaman mükemmel değildir. Örneğin, biyolojide birçok işlem, birçok farklı proteinin bir araya gelerek kompleks moleküler makineler oluşturduğu büyük protein komplekslerine dayanmaktadır (Ziegler ve ark., 2021) ve bu şu anda AlphaFold'un yeteneklerinin dışındadır. AlphaFold, doğal olarak bulunan proteinlerin bir veri kümesinde eğitilmiştir. Ancak bu yeni araçlarla tasarlamak isteyebileceğimiz tamamen yeni *de novo* proteinlere yönelik tahminlerin ne kadar iyi olacağını göstermemektedir. Ek olarak, çoğu protein, hedeflerine bağlandıklarında şekil değiştirerek işlev görür ve bu moleküler dinamikler AlphaFold'un statik protein yapılarına sahip bakış açısıyla yakalanamaz (Nussinov ve ark., 2022). Gerçek bir proteinin bu farklı dinamik konformasyonlardaki esnekliğini modelleyebilmek, protein-protein etkileşimlerini incelemek için hayati önem taşıyacaktır. Ancak, AlphaFold'un, doğru türde eğitim verileri ve mühendislik çabaları sağlandığında bu yeni zorluklara da çözüm üretebileceği muhtemeldir (Goverde ve ark., 2022; Jendrusch ve ark., 2021).

## 5. ALPHAFOLD UYGULAMALARI

Önceki bölümlerde detaylandırıldığı gibi, DeepMind araştırma ekibi tarafından geliştirilen bir yapay zeka aracı olan AlphaFold, protein yapısı tahmini alanında devrim yaratmıştır. AlphaFold, proteinlerin üç boyutlu yapısını tahmin etmek için derin sinir ağlarını kullanarak, tahminleri genellikle deneysel yöntemlerle eşleşen ve hatta onu aşan, benzeri görülmemiş bir doğruluk elde etmiştir. Bu atılım, ilaç keşfi, hastalık araştırması, sentetik biyoloji, tarım (Miyazawa ve ark., 2022), yapısal biyoloji ve protein mühendisliği gibi alanlarda AlphaFold için bir dizi heyecan verici uygulamanın önünü açmıştır. Bu bölümde, AlphaFold'un bilimsel araştırmaları ilerletmek ve en zorlayıcı biyolojik ve tıbbi problemlerin bazılarının çözümü için potansiyel uygulamalarına değinilecektir.

### 5.1. İlaç Keşfi/Tasarımı ve Hastalık Mekanizmalarını Anlamak

AlphaFold, son zamanlarda ilaç keşfi ve tasarımı ile hastalık mekanizmalarını anlamak gibi önemli biyomedikal araştırmalarda kullanılmakta olan bir yapay zeka teknolojisidir. AlphaFold'un temel özelliği, proteinlerin üç boyutlu yapılarını öngörme kabiliyetidir. Protein yapıları, proteinlerin işlevlerini belirleyen en önemli faktörlerdir ve bu nedenle birçok hastalığın mekanizması, proteinlerin yapısındaki bozukluklar ile ilgilidir. Yeni bir ilaç tasarlamadan önce, hedef proteinin yapısının bilinmesi gereklidir. Çünkü ilaçlar, hedef proteinin yapısına bağlanarak işlevlerini gerçekleştirirler. AlphaFold'un protein yapılarını doğru bir şekilde öngörmesi, ilaç tasarımı sürecinde büyük bir zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Ayrıca, AlphaFold, birçok hastalığın moleküler mekanizmalarını anlamak için kullanılmaktadır. Örneğin, Alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıklar, proteinlerin birbirleriyle etkileşimleri sonucu oluşan toksik agregatların birikmesiyle ilişkilidir (Liu ve ark., 2022). AlphaFold'un bu proteinlerin yapısını doğru bir şekilde öngörmesi, bu hastalıkların mekanizmalarını anlamak için kullanılan bir araç haline gelmiştir (Borkakoti & Thornton, 2023).

AlphaFold, Alzheimer ve Parkinson gibi hastalıklar için potansiyel ilaç hedeflerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere birçok ilaç keşif projesinde halihazırda kullanılmaktadır. AlphaFold2, Alzheimer hastalığında etkili olan tau proteininin yapı tahmininde ve ayrıca bu proteine bağlanan serin proteaz inhibitörleri üzerinde yapılan çalışmalarda kullanılmıştır (Jiang ve ark., 2023; Savvitskiy ve ark., 2023). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise AlphaFold, Alzheimer hastalığının tedavisinde kullanılabilir bir bitki olan *Artemisia argyi*'nin (Pelin otu) terapötik etkilerinin ortaya çıkarılmasında kullanılmıştır. Araştırmacılar bitkinin etkileyebileceği protein yapılarının tahmin edilmesinde AlphaFold'dan yararlanmışlardır (Wang & Huang, 2023). Dahası AlphaFold'un protein agregasyonunun çalışılmasında etkili bir araç olabileceği Pinheria ve arkadaşları tarafından ayrıntılı olarak derlenmiştir (Pinheiro ve ark., 2021). Derlemede bahsedildiği gibi, protein agregasyonu yaygın bir fenomendir ancak bu yapıların detayları iyi anlaşılabilmiştir. AlphaFold, globüler proteinler tasarlamak için kullanışlı olabilir, ancak agregasyon yapılarının tahmin edilmesi çok zorlu bir süreçtir. Birden fazla amiloid polimorfizmi ve heterojen yapıların olması, aynı zamanda bu teknolojinin temel aldığı evrimsel yaklaşımların anormal agregasyonlar için uygun olmaması bu zorluğu arttırmaktadır. Ancak, fonksiyonel amiloidler, AlphaFold'un amiloid yapısının tahmininde kullanımı için bir başlangıç noktası olabilir.

Bir diğer çalışmada ise, Toronto Üniversitesi ve Insilico Medicine'den bilim insanları, ilaç keşfinde tanımlama sürecini hızlandırmak için AlphaFold'un ilk başarılı uygulamasını duyurdular (Ren ve ark., 2023). AlphaFold, Pandaomics ve Chemistry42 adlı yapay zeka destekli ilaç keşfi platformlarıyla birlikte bir hedefe yönelik yeni bir ilaç molekülünü tespit etmede uygulanmıştır. Bu yaklaşım, hedef molekül seçiminden hit bileşiği tespitine kadar tüm süreçleri, zaman ve maliyet açısından olumlu bir şekilde etkilemiştir. Hepatoselüler karsinom tedavisi için ilgi çekici bir protein olan CDK20'ye yönelik küçük bir hit bileşiği, bu yaklaşım ile sadece 30 günde ve sadece yedi bileşik sentezlenerek tespit edilmiştir. Bu önemli çalışma, yapay zekanın ilaç keşif sürecini dönüştürme ve hayat kurtaran tedavileri hastalara geleneksel yöntemlerden yıllar önce getirme gücünü göstermektedir.

COVID-19 bağlamında, AlphaFold, birkaç önemli SARS-CoV-2 viral proteini yapılarının tahmininde kullanılmıştır (Kryshtafovych, Moulton, ve ark., 2021). Bu proteinler arasında spike protein, ana proteaz ve RNA bağımlı RNA polimeraz bulunur (Sadek ve ark., 2021). Bu tahminler, COVID-19'a karşı tedavi ve aşılarda geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Örneğin, Pfizer-BioNTech COVID-19 aşısı, SARS-CoV-2'nin spike proteinine yönelik hedeflenmiştir ve tasarımı, AlphaFold'un spike proteininin yapısının tahmini ile iyileştirilmiştir (Higgins, 2021). Benzer şekilde, virüsün ana proteazına yönelik etki eden birkaç küçük molekül ilaç, AlphaFold tahminleri temelinde geliştirilmiştir. Ayrıca, AlphaFold, virüsün insan konak hücreleriyle etkileşimine ilişkin, yapısal temeli anlamak için kullanılmıştır (Meng ve ark., 2022). Örneğin, AlphaFold tahminleri, viral giriş için temel olan insan reseptörü ACE2 (Anjiyotensin dönüştürücü enzimi 2) ile SARS-CoV-2 spike protein kompleksinin yapısını ortaya çıkarmıştır. Bu bilgi, viral enfeksiyonun mekanizmasına dair önemli bilgiler sağlamış ve bu etkileşimi hedefleyen tedavilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Yang ve ark., 2022). Dolayısıyla, AlphaFold, tedavilerin ve aşılarda hızlı tasarım ve geliştirilmesine olanak sağlayarak COVID-19 ile mücadelede kritik bir rol oynamıştır.

Sivrisinek kaynaklı hastalık, sıtma, yıkıcı küresel etkilere sahip hastalıklardan biridir. Bu nedenle sıtmayı önlemeyi hedefleyen aşı ve gelişmiş tedavilerin bulunması oldukça önemlidir. COVID-19'dan farklı olarak, sıtma paraziti (*Plasmodium falciparum*) için aşı geliştirmesi, parazitin sahip olduğu yüzlerce yüzey proteini ve değişken yapısı nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Bu aşamada, yapay zeka destekli AlphaFold algoritmasının, hedeflenen protein yapılarını kısa zamanda, yüksek doğrulukta tahmin etmesi sıtma parazitine karşı aşı çalışmalarını temel bilim

aşamasından, klinik öncesi ve klinik geliştirme aşamasına çıkararak sürece hız kazandırmıştır (Ko ve ark., 2022).

Antimikrobiyal direnç (Antimicrobial resistance/AMR), tüm ekonomik ve sosyal düzeyleri etkileyen ve 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyon ölüme neden olabilecek küresel bir sağlık sorunudur. AMR sadece hayvan ve insan sağlığını değil, aynı zamanda bitki patojenleri nedeniyle yıllık küresel tarımsal ürün kayıplarının %40'ına kadarına da sebep olmaktadır. İnsan, hayvan ve bitki AMR patojenlerinin etkin bir şekilde kontrol edilmesi için acil önlemler alınması elzem olup, bu çerçevede yeni antibiyotik keşfinin başarı oranlarının artırılması için akademik ve endüstriyel sektörler arasında işbirliği gerekmektedir (Krell & Matilla, 2022). Bakterilerde enzimler tarafından kontrol edilen direnç mekanizmalarını (bakteri membran değişimleri) bloke etmek antibiyotiklerin işlevsel olmasında önemlidir. Ancak, deneysel yöntemlerle bu enzimlerin bileşimini anlamak son derece zorlu bir görev olarak ortaya çıkmaktadır. AlphaFold gibi teknolojiler, bakteriyel enzim yapılarının çok daha hızlı çözümlerini sağlayan bir başlangıç modeli sunar. AlphaFold aracılığı ile protein yapısı elde edildiğinde, bu yapı bilgisi proteinin kimyasal reaksiyonları nasıl katalize ettiğini anlamada kullanılabilir. Bu bilgi, bakteriyel antibiyotik direnci durumunda yeni terapötiklerin üretimi için kullanılabilir (Krell & Matilla, 2022).

Sonuç olarak, AlphaFold, ilaç keşfi/tasarımı ve hastalık mekanizmalarını anlamak gibi önemli biyomedikal araştırmalarda kullanılan güçlü bir araçtır. Proteinlerin doğru bir şekilde öngörülen yapıları, hastalıkların moleküler mekanizmalarının anlaşılmasına ve yeni ilaçların tasarlanmasına olanak tanır.

## 5.2 Yapısal Biyoloji

AlphaFold, protein yapı tahmininden ilaç keşfine kadar değişen uygulamalarla yapısal biyoloji alanında paha biçilmez bir araç haline gelmiştir. Yapısal biyolojide, protein yapılarının kesin olarak belirlenmesi, işlevlerini ve diğer moleküllerle olan etkileşimlerini anlamak için çok önemlidir. AlphaFold'un yapısal biyolojideki en önemli uygulamalarından biri, protein yapı tahminidir. AlphaFold, proteinlerin üç boyutlu yapısını doğru bir şekilde tahmin ederek, protein işlevinin mekanizmaları hakkında bilgi sağlar ve bu işlevleri test etmek için deneylerin tasarımına yardımcı olabilir (Akdal ve ark., 2022). AlphaFold'un doğruluğu ve hızı, onu yapısal biyoloji topluluğunda değerli bir araç haline getirmiştir ve birçok araştırmacı AlphaFold'u daha önce çözülmemiş proteinlerin yapılarını tahmin etmek için kullanmaktadır (Sezgin & Tekin, 2023; Zhang & Chen, 2022).

AlphaFold'un yapısal biyolojideki bir diğer önemli uygulaması, protein etkileşimlerinin incelenmesidir. Proteinler birbirleriyle ve diğer moleküllerle karmaşık şekillerde etkileşime girer ve bu etkileşimleri anlamak, işlevlerini anlamak için gereklidir (Evans ve ark., 2021). AlphaFold, protein komplekslerinin yapılarını tahmin etmek için kullanılabilir ve tek tek proteinler arasındaki etkileşimlerin ayrıntılı bir görünümünü sağlar (Yu ve ark., 2023). Protein-protein etkileşimlerini incelemek ve bu etkileşimleri hedefleyen yeni ilaçlar geliştirmek için DeepMind, yeni bir sürüm olan AlphaFold-Multimer'i geliştirmiştir. AlphaFold-Multimer, tek bir zincirden oluşan proteinlerin yapısını yüksek bir doğrulukla öngörebilen orijinal AlphaFold modelinin aksine, birden fazla zincirden oluşan protein komplekslerinin yapılarını öngörebilmek için özel olarak eğitilmiş bir AlphaFold protein katlanma tahmin modelidir (Evans ve ark., 2021). AlphaFold-Multimer, protein komplekslerinin içindeki zincirler arasındaki arabirimleri de içeren kompleksin tüm yapısını tahmin etmek için eğitilmiştir. Bu nedenle, orijinal AlphaFold modeline kıyasla AlphaFold-Multimer, komplekslerin yapısını daha doğru bir şekilde tahmin edebilir. Bu, protein komplekslerinin yapısını doğru bir şekilde tahmin etmek, biyolojik süreçleri anlamak ve yeni terapötikler geliştirmek için önemli olduğundan, protein yapı tahmin alanında önemli bir ilerlemedir.

AlphaFold, protein yapısı tahmini ve protein etkileşimlerinin incelenmesindeki uygulamalarının yanı sıra, yapısal biyolojinin çeşitli başka alanlarında da kullanılmaktadır. Örneğin, deneysel olarak incelenmesi zor olduğu bilinen zar proteinlerinin yapılarını tahmin etmek için kullanılabilir. Membran proteinleri, hücre zarında gömülü olan ve moleküllerin zarın içinden geçmesi veya hücre sinyalleşmesi gibi çeşitli biyolojik süreçlerde önemli rol oynayan proteinlerin bir sınıfıdır (Tan ve ark., 2008). Ancak, membran proteinlerinin yapılarını tahmin etmek, membranın hidrofobik ortamı nedeniyle yapısal biyolojide zor bir sorun olmuştur (Hong ve ark., 2022). Başlangıçta suda çözünebilir proteinler üzerinde geliştirilmiş ve eğitilmiş olsa da, son çalışmalar AlphaFold'un yüksek bir doğrulukla membran proteinlerinin yapılarını da tahmin edebildiğini göstermiştir (Dobson ve ark., 2023; Pei & Cong, 2023). Ek olarak, AlphaFold, genetik varyasyonun hastalığındaki rolünü anlamak için önemli olan mutasyonların protein yapısı ve işlevi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için de kullanılabilir (Buel & Walters, 2022).

Yapısal biyolojideki en önemli gelişmelerden bir diğeri, yapay zeka tabanlı sistemlerin kompleks ve en büyük proteinlerinden (megadalton/MDa protein kompleksi) biri olan nükleer por kompleksinin (Nuclear pore complex/NPC) yapısının tamamlanmasında kullanılmasıdır (Fontana ve ark., 2022). NPC, ökaryotik hücrelerin nükleer zarındaki moleküler geçiş noktasıdır ve çekirdek ile sitozol arasında biyomoleküllerin taşınımını düzenler. Omurgalı hücrelerde NPC'lerin moleküler kütleleri yaklaşık 110 ila 125 MDa arasında ve çapları yaklaşık 120 nm'dir. NPC'ler birçok biyolojik süreçte rol oynamalarıyla ilişkilendirilmiştir ve işlev bozuklukları giderek artan sayıda ciddi hastalıklarla ilişkilendirilmektedir. Son yirmi yılda birçok grubun öncü çalışmalarına rağmen, NPC'lerin organizasyonu, dinamikleri ve karmaşıklığı hakkında tam bir anlayışa sahip olunamamıştır. AlphaFold deneysel verilerle birleştirilerek önceki çalışmalara göre daha ayrıntılı bir NPC yapısının aydınlatılması sağlanmıştır (Fontana ve ark., 2022). Bu başarı, NPC işlevi, biyogenez ve düzenleme açısından önemli sonuçları olan bir gelişme olup, NPC içindeki moleküler etkileşimler hakkında anlayışımızı genişletmek ve NPC'nin tam moleküler mimarisini anlamak için önemli bir adım atmamızı sağlar.

### 5.3 Protein Mühendisliği

Protein mühendisliği, stabilite, aktivite ve özgüllük gibi özelliklerini geliştirmek için proteinlerin modifikasyonunu ve manipülasyonunu içerir. Proteinlerin üç boyutlu yapısını doğru bir şekilde tahmin etmek, amino asit kalıntıları ve proteinin katlanma modeli arasındaki etkileşimleri hakkında bilgi sağladığı için protein mühendisliğinde kritik öneme sahiptir. Protein yapısını doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, enzim aktivitesi, substrat özgüllüğü ve bağlanma afinitesi gibi belirli işlevlere ve özelliklere sahip proteinlerin tasarlanmasını sağlayabilir (Freschlin ve ark., 2022).

AlphaFold, belirli işlevlere ve özelliklere sahip yeni proteinlerin tasarımı da dahil olmak üzere protein mühendisliğinde çeşitli alanlara uygulanabilir. Örneğin, AlphaFold, gelişmiş katalitik aktiviteye, substrat özgüllüğüne ve stabiliteye sahip proteinler tasarlamak için kullanılabilir. Belirli işlevlere sahip proteinler tasarlama yeteneği, ilaç hedeflerinin belirli yapı ve işlevlere sahip proteinler olduğu ilaç keşfinde özellikle önemlidir. AlphaFold'un protein yapılarını doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, potansiyel ilaç hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olabilir ve özellikle bu proteinleri hedefleyen ilaçların tasarlanmasını sağlayarak daha etkili ve daha güvenli ilaçlar üretilebilir (Ren ve ark., 2023).

İlaç keşfine ek olarak AlphaFold, biyokataliz ve biyoremediasyon gibi endüstriyel uygulamalar için enzimlerin geliştirilmesinde kullanılabilir. Biyokatalizörler, kimyasal reaksiyonları katalize eden ve biyoyakıt ve ilaç üretimi gibi çok çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanılan enzimlerdir. AlphaFold, biyokatalitik süreçleri optimize etmek için artan aktivite ve kararlılık gibi belirli özelliklere sahip enzimler tasarlamak için kullanılabilir (Mazurenko ve ark., 2019).

Son olarak, AlphaFold yeni malzemelerin geliştirilmesinde kullanılabilir. Proteinler, malzemeler için çok yönlü yapı taşlarıdır ve özellikleri, dayanıklılık, esneklik ve biyouyumluluk gibi benzersiz niteliklere sahip malzemeler oluşturmak için tasarlanabilir. AlphaFold'un protein yapılarını doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, çeşitli uygulamalar için yeni malzemelerin geliştirilmesini kolaylaştırarak, belirli özelliklere sahip proteinlerin tasarlanmasını sağlayabilir (Miserez ve ark., 2023).

Sonuç olarak, AlphaFold, protein yapısı tahmininde devrim yaratması ile birlikte, protein mühendisliğinde de çeşitli uygulamaların gelişmesine katkı sağlayabilir. Protein yapılarını doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, ilaç keşfi, biyokataliz, biyoremediasyon ve malzeme biliminde önemli etkileri olan belirli işlev ve özelliklere sahip proteinlerin tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Teknoloji gelişmeye devam ettikçe, AlphaFold şüphesiz yeni proteinlerin ve malzemelerin geliştirilmesinde kritik bir rol oynayacaktır.

## 6. ALPHAFOLD'UN SINIRLAMALARI

AlphaFold, DeepMind adlı yapay zeka araştırma kuruluşu tarafından geliştirilen bir protein katlanma tahmini sistemidir. Sistem, amino asit dizilerine dayanarak proteinlerin üç boyutlu yapılarını tahmin etmek için derin sinir ağları kullanır. AlphaFold, protein yapılarını tahmin etmedeki etkileyici doğruluğu nedeniyle geniş çapta övülmüştür, ancak diğer herhangi bir teknoloji gibi sınırlamaları vardır (Perrakis & Sixma, 2021). AlphaFold'un bir sınırı, yüksek bir hesaplama gücü gerektirmesidir. Son sürümü olan AlphaFold 2, tahminler üretmek için büyük miktarda GPU belleği ve hesaplama kaynakları kullanır. Bu, yüksek performanslı bilgi işlem kaynaklarına erişimi olmayan araştırmacılar için sistemi etkili bir şekilde kullanmayı zorlaştırabilir. Bu sınırlama AlphaFold geliştiricileri tarafından Google Colabs ile ortak çalışılarak giderilmeye çalışılmaktadır (Varadi & Velankar, 2022). AlphaFold'un ilk ve ikinci versiyonlarının kaynak kodları github (<https://github.com/deepmind/alphafold>) üzerinden elde edilebileceği gibi; aynı zamanda Google Colab (AlphaFold2.ipynb) üzerinden hiçbir sistem özelliği gerekmeden kullanıma açılmıştır.

AlphaFold'un diğer bir sınırı, büyük miktarda eğitim verisine ihtiyaç duymasıdır. Sistem, yaklaşık 170.000 protein yapılarından oluşan bir veri kümesinde eğitilmiştir (Wodak ve ark., 2022). Bu, var olan protein sayısı göz önüne alındığında oldukça küçük bir sayıdır. Bu nedenle, AlphaFold'un tahminleri daha az doğru olabilecek birçok protein olabilir. AlphaFold'un ayrıca, iyi anlaşılmayan protein yapılarının tahmin edilmesinde sınırlamaları vardır. Örneğin, benzersiz özelliklere sahip olan veya nadir hastalıklarla ilişkili olan proteinlerin yapılarını tahmin etmekte zorluk çekebilir. AlphaFold çoğu hedefte diğer yöntemlerden daha iyi performans göstermiş olsa da özellikle çoklu alanlı veya beta-yapıları zengin protein hedeflerinde iyi performans göstermediği bazı durumlar vardır. Dahası, karmaşık biyolojik süreçlerle ilişkili olan proteinlerin yapılarını tahmin etmekte zorlanabilir, çünkü bu yapılar hesaplamalı bir modelde hesaba katılmaları zor faktörlerden etkilenebilir (Evans ve ark., 2021). Ek olarak, AlphaFold'un tahminleri etkileyici olsa da her zaman mükemmel değildir. Özellikle modellenmesi zor olan proteinler için hala yanlış tahminler yapabilir. Bu nedenle, araştırmacılar AlphaFold'un tahminlerini X-ışını kristalografisi veya kriyo-elektron mikroskopisi gibi deneysel yöntemlerle doğrulamak zorunda kalabilirler.

## 7. ALPHAFOLD'UN GELECEĞİ VE SONUÇ

Sonuç olarak AlphaFold, benzeri görülmemiş bir doğruluk ve hız sunarak protein yapısı tahmininde büyük bir atılımı temsil etmektedir. Sınırlamalarına rağmen, diğer tüm yöntemlerden büyük bir farkla daha iyi performans gösterdiği CASP14 deneyinde doğrulanmıştır. AlphaFold'un

başarısı, derin öğrenme yaklaşımlarının gücünü vurgular ve bunların yapısal biyolojideki karmaşık sorunları çözmek için değerli araçlar olabileceğini öne sürer.

İleriye bakıldığında, AlphaFold'daki gelişmeler muhtemelen uygulanabilirliğini küresel ve küçük transmembran proteinlerin ötesinde diğer protein türlerine genişletmeye odaklanacaktır. Bu, protein-protein etkileşimleri veya katlanma sonrası değişiklikler hakkında bilgi gibi modele ek özelliklerin dahil edilmesini içerebilir. Algoritma ve yapay zeka mekanizmaları, veri kaynakları ve ön işleme yöntemleri, doğrulama ve performans değerlendirmesi, genelleştirilebilirlik ve uygulanabilirlik gibi alanlarda yapılacak daha fazla araştırma ve geliştirme, AlphaFold'un yeteneklerini genişletmek ve bilimsel anlamda büyük ilerlemeler kaydetmek için önemlidir. AlphaFold'un daha genelleştirilebilir, yorumlanabilir ve güvenilir modeller sağlaması, proteinlerin yapısını ve işlevini anlama sürecinde önemli bir adım olabilir. Bu potansiyel, biyoloji ve tıp alanlarında büyük ilerlemeler sağlama açısından büyük bir umut kaynağıdır.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## **KAYNAKÇA**

- Akdel, M., Pires, D. E., Pardo, E. P., Jänes, J., Zalevsky, A. O., Mészáros, B., Bryant, P., Good, L. L., Laskowski, R. A. & Pozzati, G. (2022). A structural biology community assessment of AlphaFold2 applications. *Nature Structural & Molecular Biology*, 1-12.
- AlQuraishi, M. (2019). AlphaFold at CASP13. *Bioinformatics*, 35(22), 4862-4865.
- AlQuraishi, M. (2021). Machine learning in protein structure prediction. *Current opinion in chemical biology*, 65, 1-8.
- Anfinsen, C. & Scheraga, H. (1975). Experimental and theoretical aspects of protein folding. *Advances in protein chemistry*, 29, 205-300.
- Anfinsen, C. B. (1973). Principles that govern the folding of protein chains. *Science*, 181(4096), 223-230.
- Anfinsen, C. B., Haber, E., Sela, M. & White Jr, F. (1961). The kinetics of formation of native ribonuclease during oxidation of the reduced polypeptide chain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 47(9), 1309-1314.
- Arnold, K., Bordoli, L., Kopp, J. & Schwede, T. (2006). The SWISS-MODEL workspace: A web-based environment for protein structure homology modelling. *Bioinformatics*, 22(2), 195-201.
- Bolen, D. & Baskakov, I. V. (2001). The osmophobic effect: natural selection of a thermodynamic force in protein folding. *Journal of molecular biology*, 310(5), 955-963.



- Borkakoti, N. & Thornton, J. M. (2023). AlphaFold2 protein structure prediction: Implications for drug discovery. *Current Opinion in Structural Biology*, 78, 102526.
- Buel, G. R. & Walters, K. J. (2022). Can AlphaFold2 predict the impact of missense mutations on structure? *Nature Structural & Molecular Biology*, 29(1), 1-2.
- Burley, S. & Petsko, G. (1988). Weakly polar interactions in proteins. *Advances in protein chemistry*, 39, 125-189.
- Burley, S. K., Bhikadiya, C., Bi, C., Bittrich, S., Chen, L., Crichlow, G. V., Duarte, J. M., Dutta, S., Fayazi, M. & Feng, Z. (2022). RCSB Protein Data Bank: Celebrating 50 years of the PDB with new tools for understanding and visualizing biological macromolecules in 3D. *Protein Science*, 31(1), 187-208.
- Chen, I.-M. A., Markowitz, V. M., Chu, K., Palaniappan, K., Szeto, E., Pillay, M., Ratner, A., Huang, J., Andersen, E. & Huntemann, M. (2016). IMG/M: Integrated genome and metagenome comparative data analysis system. *Nucleic acids research*, 507-516.
- Cheng, J., Roy, R. S., Liu, J., Giri, N. & Guo, Z. (2023). Combining pairwise structural similarity and deep learning interface contact prediction to estimate protein complex model accuracy in CASP15. *bioRxiv*, 2023.2003.2008.531814.
- de Almeida Paiva, V., de Souza Gomes, I., Monteiro, C. R., Mendonça, M. V., Martins, P. M., Santana, C. A., Gonçalves-Almeida, V., Izidoro, S. C., de Melo-Minardi, R. C. & de Azevedo Silveira, S. (2022). Protein structural bioinformatics: An overview. *Computers in Biology and Medicine*, 105695.
- Dhingra, S., Sowdhamini, R., Cadet, F. & Offmann, B. (2020). A glance into the evolution of template-free protein structure prediction methodologies. *Biochimie*, 175, 85-92.
- Dill, K. A. (1990). Dominant forces in protein folding. *Biochemistry*, 29(31), 7133-7155.
- Dill, K. A. & MacCallum, J. L. (2012). The protein-folding problem, 50 years on. *Science*, 338(6110), 1042-1046.
- Dobson, L., Szekeres, L. I., Gerdán, C., Langó, T., Zeke, A. & Tusnády, G. E. (2023). TmAlphaFold database: membrane localization and evaluation of AlphaFold2 predicted alpha-helical transmembrane protein structures. *Nucleic acids research*, 51(D1), 517-522.
- Evans, R., O'Neill, M., Pritzel, A., Antropova, N., Senior, A., Green, T., Židek, A., Bates, R., Blackwell, S. & Yim, J. (2021). Protein complex prediction with AlphaFold-Multimer. *bioRxiv*, 2021.2010.2004.463034.
- Faure, A. J., Domingo, J., Schmiedel, J. M., Hidalgo-Carcedo, C., Diss, G. & Lehner, B. (2022). Mapping the energetic and allosteric landscapes of protein binding domains. *Nature*, 604(7904), 175-183.
- Fontana, P., Dong, Y., Pi, X., Tong, A. B., Hecksel, C. W., Wang, L., Fu, T.-M., Bustamante, C. & Wu, H. (2022). Structure of cytoplasmic ring of nuclear pore complex by integrative cryo-EM and AlphaFold. *Science*, 376(6598), 1-29.

- Freschlin, C. R., Fahlberg, S. A. & Romero, P. A. (2022). Machine learning to navigate fitness landscapes for protein engineering. *Current Opinion in Biotechnology*, 75, 102713.
- Gasic, A. G., Sarkar, A. & Cheung, M. S. (2021). Understanding protein-complex assembly through grand canonical maximum entropy modeling. *Physical Review Research*, 3(3), 033220.
- Gogoi, C. R., Rahman, A., Saikia, B. & Baruah, A. (2023). Protein Dihedral Angle Prediction: The State of the Art. *ChemistrySelect*, 8(5), e202203427.
- Goverde, C., Wolf, B., Khakzad, H., Rosset, S. & Correia, B. E. (2022). De novo protein design by inversion of the AlphaFold structure prediction network. *bioRxiv*, 2022.2012.2013.520346.
- He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 770-778.
- Hey, T., Butler, K., Jackson, S. & Thiyagalingam, J. (2020). Machine learning and big scientific data. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 378(2166), 20190054.
- Higgins, M. K. (2021). Can we AlphaFold our way out of the next pandemic? *Journal of molecular biology*, 433(20), 167093.
- Hong, H., Choi, H.-K. & Yoon, T.Y. (2022). Untangling the complexity of membrane protein folding. *Current Opinion in Structural Biology*, 72, 237-247.
- Hornak, V., Abel, R., Okur, A., Strockbine, B., Roitberg, A. & Simmerling, C. (2006). Comparison of multiple Amber force fields and development of improved protein backbone parameters. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 65(3), 712-725.
- Hsu, C., Verkuil, R., Liu, J., Lin, Z., Hie, B., Sercu, T., Lerer, A. & Rives, A. (2022). Learning inverse folding from millions of predicted structures. *International Conference on Machine Learning*, 1-25.
- Jendrusch, M., Korbel, J. O. & Sadiq, S. K. (2021). AlphaDesign: A de novo protein design framework based on AlphaFold. *bioRxiv*, 2021.2010.2011.463937.
- Jiang, F., & Wu, Y.-D. (2014). Folding of fourteen small proteins with a residue-specific force field and replica-exchange molecular dynamics. *Journal of the American Chemical Society*, 136(27), 9536-9539.
- Jiang, L., Chakraborty, P., Zhang, L., Wong, M., Hill, S. E., Webber, C. J., Libera, J., Blair, L. J., Wolozin, B. & Zweckstetter, M. (2023). Chaperoning of specific tau structure by immunophilin FKBP12 regulates the neuronal resilience to extracellular stress. *Science Advances*, 9(5), eadd9789.
- Jisna, V. & Jayaraj, P. (2021). Protein structure prediction: conventional and deep learning perspectives. *The Protein Journal*, 40(4), 522-544.
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., Tunyasuvunakool, K., Bates, R., Žídek, A. & Potapenko, A. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596(7873), 583-589.

- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Tunyasuvunakool, K., Ronneberger, O., Bates, R., Židek, A. & Bridgland, A. (2020). AlphaFold 2. *In Fourteenth Critical Assessment of Techniques for Protein Structure Prediction (Abstract Book)*.
- Ko, K.-T., Lennartz, F., Mekhaieel, D., Guloglu, B., Marini, A., Deuker, D. J., Long, C. A., Jore, M. M., Miura, K. & Biswas, S. (2022). Structure of the malaria vaccine candidate Pfs48/45 and its recognition by transmission blocking antibodies. *Nature Communications*, 13(1), 5603.
- Krell, T. & Matilla, M. A. (2022). Antimicrobial resistance: progress and challenges in antibiotic discovery and anti-infective therapy. *Microbial Biotechnology*, 15(1), 70-78.
- Kryshtafovych, A., Moulton, J., Billings, W. M., Della Corte, D., Fidelis, K., Kwon, S., Olechnovič, K., Seok, C., Venclovas, Č. & Won, J. (2021). Modeling SARS-CoV-2 proteins in the CASP-commons experiment. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1987-1996.
- Kryshtafovych, A., Schwede, T., Topf, M., Fidelis, K. & Moulton, J. (2019). Critical assessment of methods of protein structure prediction (CASP)—Round XIII. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 87(12), 1011-1020.
- Kryshtafovych, A., Schwede, T., Topf, M., Fidelis, K. & Moulton, J. (2021). Critical assessment of methods of protein structure prediction (CASP)—Round XIV. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1607-1617.
- Kufareva, I. & Abagyan, R. (2012). Methods of protein structure comparison. *Homology Modeling: Methods and Protocols*, 231-257.
- Kuhlman, B. & Bradley, P. (2019). Advances in protein structure prediction and design. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(11), 681-697.
- Levinthal, C. (1969). How to fold graciously. *Mossbauer spectroscopy in biological systems*, 67, 22-24.
- Li, F. & Du, Y. (2018). From AlphaGo to power system AI: What engineers can learn from solving the most complex board game. *IEEE Power and Energy Magazine*, 16(2), 76-84.
- Li, S., Wu, S., Wang, L., Li, F., Jiang, H. & Bai, F. (2022). Recent advances in predicting protein-protein interactions with the aid of artificial intelligence algorithms. *Current Opinion in Structural Biology*, 73, 102344.
- Li, Y., Liu, Y. & Yu, D.-J. (2023). Machine learning for protein inter-residue interaction prediction. *Machine Learning in Bioinformatics of Protein Sequences: Algorithms, Databases and Resources for Modern Protein Bioinformatics*, 183-203. World Scientific.
- Lin, Z., Akin, H., Rao, R., Hie, B., Zhu, Z., Lu, W., Smetanin, N., Verkuil, R., Kabeli, O. & Shmueli, Y. (2023). Evolutionary-scale prediction of atomic-level protein structure with a language model. *Science*, 379(6637), 1123-1130.
- Liu, W., Wang, G., Wang, Z., Wang, G., Huang, J. & Liu, B. (2022). Repurposing small-molecule drugs for modulating toxic protein aggregates in neurodegenerative diseases. *Drug discovery today*, 27(7), 1994-2007.

- Lumry, R. & Eyring, H. (1954). Conformation changes of proteins. *The Journal of physical chemistry*, 58(2), 110-120.
- Marks, D. S., Hopf, T. A. & Sander, C. (2012). Protein structure prediction from sequence variation. *Nature biotechnology*, 30(11), 1072-1080.
- Marx, V. (2022). Method of the year: Protein structure prediction. *Nature methods*, 19(1), 5-10.
- Mazurenko, S., Prokop, Z. & Damborsky, J. (2019). Machine learning in enzyme engineering. *ACS Catalysis*, 10(2), 1210-1223.
- Meng, B., Abdullahi, A., Ferreira, I. A., Goonawardane, N., Saito, A., Kimura, I., Yamasoba, D., Gerber, P. P., Fatihi, S. & Rathore, S. (2022). Altered TMPRSS2 usage by SARS-CoV-2 Omicron impacts infectivity and fusogenicity. *Nature*, 603(7902), 706-714.
- Miserez, A., Yu, J. & Mohammadi, P. (2023). Protein-based biological materials: Molecular design and artificial production. *Chemical Reviews*, 123(5), 2049-2111.
- Miyazawa, T., Hiratsuka, Y., Toda, M., Hatakeyama, N., Ozawa, H., Abe, C., Cheng, T.-Y., Matsushima, Y., Miyawaki, Y. & Ashida, K. (2022). Artificial intelligence in food science and nutrition: a narrative review. *Nutrition Reviews*, 80(12), 2288-2300.
- Nussinov, R., Zhang, M., Liu, Y. & Jang, H. (2022). AlphaFold, artificial intelligence (AI), and allostery. *The Journal of Physical Chemistry B*, 126(34), 6372-6383.
- Ongie, G., Jalal, A., Metzler, C. A., Baraniuk, R. G., Dimakis, A. G. & Willett, R. (2020). Deep learning techniques for inverse problems in imaging. *IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory*, 1(1), 39-56.
- Ovchinnikov, S., Kim, D. E., Wang, R. Y. R., Liu, Y., DiMaio, F. & Baker, D. (2016). Improved de novo structure prediction in CASP 11 by incorporating coevolution information into Rosetta. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 84, 67-75.
- Pakhrin, S. C., Shrestha, B., Adhikari, B. & Kc, D. B. (2021). Deep learning-based advances in protein structure prediction. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5553.
- Pearce, R. & Zhang, Y. (2021). Deep learning techniques have significantly impacted protein structure prediction and protein design. *Current Opinion in Structural Biology*, 68, 194-207.
- Pei, J. & Cong, Q. (2023). AFTM: a database of transmembrane regions in the human proteome predicted by AlphaFold. *Database*, 2023, baad008.
- Perrakis, A. & Sixma, T. K. (2021). AI revolutions in biology: The joys and perils of AlphaFold. *EMBO reports*, 22(11), e54046.
- Pinheiro, F., Santos, J. & Ventura, S. (2021). AlphaFold and the amyloid landscape. *Journal of Molecular Biology*, 433(20), 167059.
- Ponting, C. P. & Russell, R. R. (2002). The natural history of protein domains. *Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure*, 31(1), 45-71.

- Ren, F., Ding, X., Zheng, M., Korzinkin, M., Cai, X., Zhu, W., Mantsyzov, A., Aliper, A., Aladinskiy, V. & Cao, Z. (2023). AlphaFold accelerates artificial intelligence powered drug discovery: efficient discovery of a novel CDK20 small molecule inhibitor. *Chemical Science*, 14(6), 1443-1452.
- Romero, P. A. & Arnold, F. H. (2009). Exploring protein fitness landscapes by directed evolution. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 10(12), 866-876.
- Sadek, A., Zaha, D. & Ahmed, M. S. (2021). Structural insights of SARS-CoV-2 spike protein from Delta and Omicron variants. *bioRxiv*, 2021.2012. 2008.471777.
- Salahuddin, P., Siddiqi, M. K., Khan, S., Abdelhameed, A. S. & Khan, R. H. (2016). Mechanisms of protein misfolding: Novel therapeutic approaches to protein-misfolding diseases. *Journal of Molecular Structure*, 1123, 311-326.
- Savytskyi, O. V., Sirmans, T. N., Coban, M. A., Weber, C. A., Murray, M. E. & Caulfield, T. R. (2023). Computational modeling and molecular mapping of serine protease inhibitor family A5 (SERPINA5) structure, associated with tau expression and Alzheimer's disease. *Biophysical Journal*, 122(3), 471a.
- Senior, A. W., Evans, R., Jumper, J., Kirkpatrick, J., Sifre, L., Green, T., Qin, C., Židek, A., Nelson, A. W. & Bridgland, A. (2020). Improved protein structure prediction using potentials from deep learning. *Nature*, 577(7792), 706-710.
- Sezgin, E. & Tekin, B. (2023). Molecular evolution and population genetics of glutamate decarboxylase acid resistance pathway in lactic acid bacteria. *Frontiers in Genetics*, 1-14.
- Shen, Y. & Bax, A. (2013). Protein backbone and sidechain torsion angles predicted from NMR chemical shifts using artificial neural networks. *Journal of biomolecular NMR*, 56, 227-241.
- Tan, S., Tan, H. T. & Chung, M. C. (2008). Membrane proteins and membrane proteomics. *Proteomics*, 8(19), 3924-3932.
- Thompson, J. D., Plewniak, F., Ripp, R., Thierry, J.-C. & Poch, O. (2001). Towards a reliable objective function for multiple sequence alignments. *Journal of Molecular Biology*, 314(4), 937-951.
- Tunyasuvunakool, K., Adler, J., Wu, Z., Green, T., Zielinski, M., Židek, A., Bridgland, A., Cowie, A., Meyer, C. & Laydon, A. (2021). Highly accurate protein structure prediction for the human proteome. *Nature*, 596(7873), 590-596.
- UniProt: the universal protein knowledgebase in 2021. (2021). *Nucleic acids research*, 49(D1), D480-D489.
- UniProt: the Universal Protein knowledgebase in 2023. (2023). *Nucleic acids research*, 51(D1), D523-D531.
- Varadi, M. & Velankar, S. (2022). The impact of AlphaFold Protein Structure Database on the fields of life sciences. *Proteomics*, 2200128.
- Wang, G., Wu, Z., Fang, X., Xiang, Y., Liu, Y., Yu, D. & Ma, Y. (2022). Efficient AlphaFold2 Training using Parallel Evoformer and Branch Parallelism. *arXiv preprint arXiv:2211.00235*.

- Wang, Y. & Huang, R. (2023). Identification of Artemisia Argyi (AA) Therapy in Alzheimer's Disease (AD) Using Network Pharmacology and Molecular Docking. *Advanced Biology*, 2200256.
- Waterhouse, A., Bertoni, M., Bienert, S., Studer, G., Tauriello, G., Gumienny, R., Heer, F. T., de Beer, T. A. P., Rempfer, C. & Bordoli, L. (2018). SWISS-MODEL: homology modelling of protein structures and complexes. *Nucleic acids research*, 46(W1), W296-W303.
- Wodak, S. J., Vajda, S., Lensink, M. F., Kozakov, D. & Bates, P. A. (2022). Critical Assessment of Methods for Predicting the 3D Structure of Proteins and Protein Complexes. *Annual Review of Biophysics*, 52.
- Xu, Z., Cen, Y.-K., Zou, S.-P., Xue, Y.-P. & Zheng, Y.-G. (2020). Recent advances in the improvement of enzyme thermostability by structure modification. *Critical reviews in biotechnology*, 40(1), 83-98.
- Yang, J., Anishchenko, I., Park, H., Peng, Z., Ovchinnikov, S. & Baker, D. (2020). Improved protein structure prediction using predicted interresidue orientations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(3), 1496-1503.
- Yang, Q., Jian, X., Syed, A. A. S., Fahira, A., Zheng, C., Zhu, Z., Wang, K., Zhang, J., Wen, Y. & Li, Z. (2022). Structural comparison and drug screening of spike proteins of ten SARS-CoV-2 variants. *Research*.
- Yu, D., Chojnowski, G., Rosenthal, M. & Kosinski, J. (2023). AlphaPulldown—a python package for protein–protein interaction screens using AlphaFold-Multimer. *Bioinformatics*, 39(1), btac749.
- Zhang, J. & Chen, B. (2022). Fighting SARS-CoV-2 with structural biology methods. *Nature methods*, 19(4), 381-383.
- Ziegler, S. J., Mallinson, S. J., John, P. C. S. & Bomble, Y. J. (2021). Advances in integrative structural biology: Towards understanding protein complexes in their cellular context. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 214-225.
- Zwanzig, R., Szabo, A. & Bagchi, B. (1992). Levinthal's paradox. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89(1), 20-22.

*Araştırma Makalesi*

**RFID SİSTEMLERİ İLE DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİNDE  
KONUM BELİRLEMEDE KULLANILACAK YÖNTEM VE  
TEKNOLOJİLERE GENEL BAKIŞ\***

**Hüseyin Cahit TOSUN<sup>1</sup>**

**Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Küçükyalı, İstanbul, Türkiye, cahit\_tosun@hotmail.com, orcid.org/0000-0002-0911-9003

<sup>2</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı,  
İstanbul, Türkiye, azaim@ticaret.edu.tr, orcid.org/0000-0002-0233-064X

**Öz**

RFID sistemleri otoyollar, kapı anahtarları, güvenlik kontrolleri ve konum belirleme gibi hayatımızın bir çok alanına Nesnelerin İnterneti(IoT) ismi ile nüfuz etmiştir. Nesnelerin İnterneti(IoT) ismi ile hayatımıza giren her gelişme beraberinde bu gelişmenin network ve veri tabanı ihtiyacını da birlikte getirmektedir. Toplanan ya da dağıtılan bilginin anlamlı ve hızlı olması, amacına hitap ettiği gelişimle doğru orantılı olmalıdır. RFID sistemlerin konumlandırma amacı ile kullanımı depo yönetim sistemlerine de çözüm olmaktadır. Depo yönetim sistemlerinde birçok ihtiyacın karşılığı olabilecek sistem uygulaması Endüstri 4.0 ve otomasyon sistemlerine öncülük edebilir niteliktedir. Bu çalışmada RFID sistemlerinin depo yönetimlerinde konum belirleme amacı ile kullanımı için kullanılacak yöntemler ve teknolojiler hakkında ön bilgi vermesi amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimler:** *IoT, GPS.*

*Research Article*

**OVERVIEW OF METHODS AND TECHNOLOGIES TO BE USED IN  
POSITIONING WITH RFID SYSTEMS IN WAREHOUSE MANAGEMENT  
SYSTEMS**

**Abstract**

RFID systems have entered many areas of our lives with the name Internet of Things (IoT), such as highways, door keys, security controls and location detection. With the name Internet of Things (IoT), every development that comes into our lives brings network and database requirements with it. The fact that the information gathered or distributed is meaningful and fast, must be directly proportional to the development it addresses. The use of RFID systems for positioning purposes is also a solution for warehouse management systems. The system application that can meet many needs in warehouse management systems can lead the Industry 4.0 and automation systems. In this research, it is aimed to give preliminary information about the methods and technologies to be used for the location determination of RFID systems in warehouse management.

**Key words:** *IoT, GPS.*

\* Bu çalışma, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan "Konuma Bağlı Depo Yönetim Sistemlerinde RFID Ve Barkod Yöntemlerinin Karşılaştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Received / Geliş tarihi: 23/05/2018

Accepted / Kabul tarihi: 22/06/2018

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar :

cahit\_tosun@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

Dünya çapında Endüstri 4.0 devri sayılacak ülkeler insansız teknolojilere yatırım yapmakta ve bu alanda daha öteye nasıl geçebiliriz için AR&GE bütçeleri ayırmaktadır. Dünya genelinde AR&GE bütçesi %4.5 değerlerine çıkmış iken ülkemizde bu rakam %1 altında seyretmektedir. Bu kısıtlı bütçe ile insansız teknolojilere yapılacak yatırımların önemi ülkemiz için çok daha büyük bir önem arz etmektedir. RFID sistemlere yapılacak doğru yatırımlar düşük bütçeli işlerin çıkmasına yol açacaktır. RFID sistemi ile konum belirleme işlemi için gereken doğru yazılım teknolojileri bütçe yükünü hafifletmekte önemli rol oynamaktadır. Araştırmanın 2. Kısımında RFID teknolojisi ve sistemleri incelenmektedir. 3. Kısımda depo yönetim sistemlerine değinilmektedir. 4. Kısımda RFID etiketlerinin konumlandırılmasında hesaplama yöntemleri belirtilmektedir. 5. Kısımda RFID sisteminde önerilen yazılım teknolojileri ve karşılaştırmalara değinilmektedir. Sonuç kısmında bu teknolojilerin depo yönetim sistemlerinde kullanımı neticesinde oluşacak faydalar özetlenmektedir.

## 2. RFID TEKNOLOJİSİ

(Khong ve White, 2005) a göre RFID, bir nesne veya kişiye ait tanıma bilgisini (benzersiz seri sayı biçiminde) kablosuz bir şekilde radyo dalgaları ile iletme için kullanılan sistemleri tanımlamak amacıyla ifade edilen genel bir terimdir.

### 2.1. RFID Etiketleri

(Bouet ve Santos, 2008)'un belirttiği gibi RFID etiketleri Aktif, Pasif ve Yarı Pasif olmak üzere 3 kategori altında toplanır.

a) Aktif RFID etiketleri: Donanım üzerinde bir güç kaynağı bulundurur. Bu güç kaynağı RF iletişim devresini güçlendirmek içindir. Okuyucular bu güç ünitesi sayesinde düşük seviye sinyal iletirler ve etiket bu sinyale yüksek seviye sinyal ile cevap verebilir. Aktif etiketler aynı zamanda hafıza, sensör ya da şifreleyici gibi ilave özellikleri de bünyesinde barındırabilir.

b) Pasif RFID etiketleri: Aktif etikete olduğunun aksine yerleşik bir güç kaynağına sahip değildir. Genel olarak antenden gelen güçlü sinyali geri yansıtma özelliğine sahiptir. Pasif etiketler küçük ölçekli ve ucuz etiketlerdir ancak limitli yeteneklere sahiptirler.

c) Yarı Pasif RFID Etiketleri: Yapısal olarak aktif RFID etiketleri gibi olsalar da iletişim şekli pasif etiketler gibidir.

### 2.2. RFID Sistemleri

RFID sistemleri okuyucu anten ve etiket olmak suretiyle iki temel bileşen üzerine kurgulanır. Okuyucu diye adlandırılan yapı kendi enerjisini olan bir anten şeklinde kablosuz yayın yapan cihazlardır. RFID sistemlerin iki temel bileşeni olan okuyucu



ve taşıyıcıların hareketli veya sabit olma durumlarına göre okuyucu sabit taşıyıcı hareketli ve taşıyıcı sabit okuyucu hareketli sistemler olmak üzere iki başlık altında toplanmıştır, (Demiral vd. 2013). RFID Sistemler şekil 1 de gösterildiği gibi taşıyıcı üzerine yerleştirilmiş bir etiket, RFID okuyucu anten ve bu anten ile iletişimde olan bir sunucu şeklinde düşünülebilir (Demiral vd. 2013). RFID okuyucular iki arayüze sahiptir, (Bouet ve Santos, 2008). Birincisi, etiketlerle iletişime geçen ve etiketten bilgi alınması için sinyal dağıtımı ve toplanması işini yapan RF arayüzüdür. İkincisi, genellikle sunucu ile iletişime geçtiği IEEE 802.11 veya 802.3 iletişim protokolleridir (Bouet ve Santos, 2008).



Şekil 1. RFID Sistem Bileşenleri (Demiral vd. 2013)

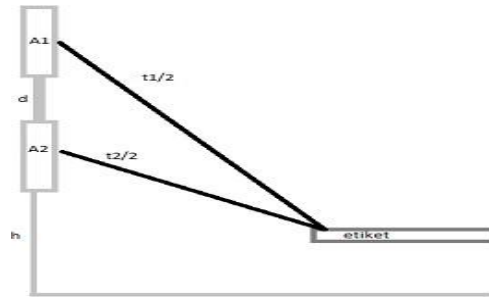
### 3. DEPO YÖNETİM SİSTEMLERİ

WMS (Warehouse Management System) yani depo yönetim sistemi; mamul, yarı mamul, ham madde ve son yıllarda eklenen yeni bir kalem olarak basılı evrakların depo olarak tarif edilen tesis içerisinde takibini sağlayan ve depolanan kalemler ile birlikte kaynakların operasyon ihtiyacına göre en doğru ve verimli biçimde kullanılmasını sağlayan metodolojiler ve yazılım bütünüdür. Depo yönetim sistemlerinde süreçler, ana veri tanımları, giriş hareketleri, depo için hareketleri ve çıkış hareketleri olarak kategorize edilebilir.

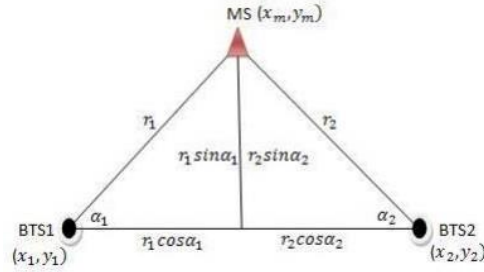
### 4. KONUMLANDIRMADA HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

TOA, okuyucu antenden gönderilen radyo sinyalinin etikete ve etiketten tekrar okuyucu antene gönderilmesiyle geçen gidiş dönüş süresidir. Arada geçen süre gidiş ve geliş olduğundan süre hesabı  $t/2$  olarak hesaplanır. Mesafe bu sürenin ışık hızıyla çarpımından bulunur, (Simsim vd, 2006). Etiketinin açısı iki adet zamansal senkronizasyonu tamamlanmış anten aradığı ile bulunur. Antenlerin nesneye olan uzaklıkları ve antenler arasındaki uzaklık hesaba katıldığında nesnenin konumu hesaplanmış olur. Şekil 2 de tariflenen yerden belirli yükseklikte ve bu bilgiye sahip olduğumuz antenlerin arasındaki mesafe ve antenlerden gönderilen ve alınan sinyallerin geliş sürelerinin yarısı ile mesafe kestirimleri yapılabilmektedir. TOA da iki anten arasındaki uzaklık ve antenlerin yerden yükseklikleri baz alındığında antenler e geliş süresi farkı açığı bulmayı sağlar. Ortaya çıkan bu açı değeri bizim için AOA (Angle of Arrival/Geliş Açısı) dır. (Hua vd, 2013; Niculescu ve Nath, 2003). AOA da mesafe ölçümü Şekil 3 de tariflenmiştir. Burada doğruluğu arttırmak

adına 2 den fazla anten konumlandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Her bir anten matrisinin gönderdiği sinyal kendisine özgü olmak zorundadır, çünkü aynı sinyal karışıklığa sebep olacaktır. Antenlerin farklı tip sinyal göndermesi halinde birbirlerinin sinyalini gürültü olarak tanımlayacak ve sadece kendi sinyallerini kullanacaklardır. Bu tip bir işlemde doğruluğu arttırmak için mutlaka sinyal işleme süreleri ve ilgili ortamda ki materyal yoğunluğu göz önüne alınır ve buna göre hata payı minimuma indirilebilir.



Şekil 2. RFID TOA Kurgusu



Şekil 3. RFID AOA Kurgusu

#### 4.1. 2 Boyutlu Düzlemde RFID Konum Belirleme

Günümüzde konumlandırma amacı ile genellikle GPS teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji oldukça yaygın olmasına rağmen hem maliyetleri hem de kapalı mekanlarda işe yaramaması sebebi ile farklı yaklaşımlar araştırılmakta ve uygulanmaktadır. Bu yaklaşımlardan birisi olan RFID ile konum belirlemede amaç etiketin sabit okuyucuya olan uzaklığı ile kestirimlerde bulunmaktır. Antenleri doğası gereği yayın yaptıkları sinyal tek bir nokta odaklı olmadığından ötürü bu tip bir yaklaşım ancak ve ancak birden çok antenin farklı noktalara konumlandırılması ile başarıya ulaşabilmektedir. Çalışmalarda gözlemlenen RSSI verisine dayalı mesafe ölçümü benimsenmiş bir yöntemdir. RSSI(Received signal strength indication) bir istemci cihaza alınan sinyal kalitesini ölçmek için kullanılan bir terimdir. Ancak bu

değer mutlak değere sahiptir. IEEE 802.11 standartlarında her yonga üreticisi kendi “RSSI\_Max” değerini tanımlamaktadır. Bu değer 0-255 arasında olabilir. Örneğin; Atheros 0-60 arasını kullanırken, Cisco 0-100 arasında kullanmaktadır. Genel olarak tüm üreticilerde 0 a yakın değer daha yüksek kaliteyi ifade etmektedir yani -40 değeri -50 değerinden daha kıymetlidir. RSSI değeri hesabı yüzdesel dilim üzerinden yapılır, çünkü RSSI değeri kullanıldığı yere göre kabuller üzerinden hesaplanır. Kalite ve RSSI ilişkisi Şekil 4 de açıklanmıştır. Son zamanlarda gelişen teknoloji ile beraber kablosuz haberleşme ve sensör teknolojileri de hızla gelişmektedir. RSSI bilgisi ek bir donanım gerektirmeden bir çok cihaz ile birlikte sunulan bir özellik olarak yerini almaktadır. Konum belirlemede farklı konumlandırılmış ve birbirlerine olan vektörel uzaklıkları bilinen okuyucu antenlerin her biri tarafından alınan RSSI değeri ile farklı algoritmalar kullanılarak çıkarımda bulunulabilir. Örneğin; ortamda belirli konumlara önceden yerleştirilen taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri ile konumu belirlenmeye çalışılan nesnelere üzerindeki taşıyıcılara ait RSSI değerleri karşılaştırılarak k-NN (k-NN: K Nearest Neighbors / k En Yakın Komşuluk) algoritması ile konum tahminleri gerçekleştirilmiştir, (Ni vd, 2004, Demiral vd. 2013). Bir diğer konum belirleme yöntemi TdoA(Time Difference of Arrival/ Varış Süresi Farkı) yöntemidir, (Bouet ve Dos Santos, 2008). Bu yöntem okuyucuların almış olduğu sinyallerin arasında geçen süre hesaplamasıdır (Stelzer vd, 2004). Fakat çalışmalar göstermiştir ki bulunan ortamdaki değişkenler ve işlem yapan mikro denetleyicinin oluşturduğu zaman farklılıkları hatayı çok arttırmaktadır. Tüm bu çalışmalar temelde nesnenin 2 boyutlu düzlemdeki konumunu vermektedir. Farklı tip çalışmalar Tablo 1 deki gibidir (Demiral vd. 2013).

<p>RSSI sinyal değeri -50db ve -100db,</p> <p>Kalite <math>\sim 2 * (db + 100)</math></p> <p>RSSI <math>\sim (yüzde / 2) - 100</math></p> <p>Yukarıdaki bilgiler ışığında</p> <p>Yüksek Kalite: 90% <math>\sim -55db</math></p> <p>Orta Kalite: 50% <math>\sim -75db</math></p> <p>Düşük Kalite: 30% <math>\sim -85db</math></p> <p>Kullanışsız: 8% <math>\sim -96db</math></p>
---

Şekil 4. RSSI Kalite İlişkisi

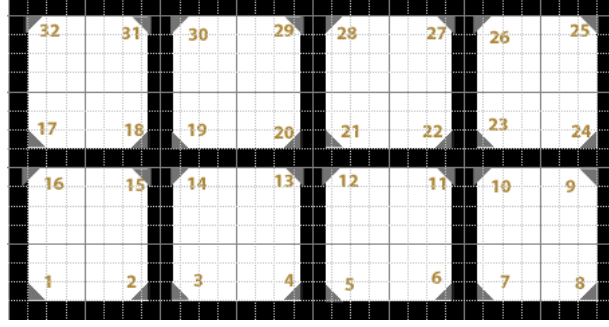
**Tablo 1.**Konum Belirlemede Örnek Çalışmalar (Demiral vd. 2013)

Referans	Kullanılan Yöntem (Açıklama)	Doğruluk
SpotOn (J. Hightower vd. 2000)	RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme metodu ile konum kestirme	3 m
(Bechteler ve Yenigün 2003)	3 okuyucu ile RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme metodu ile konum kestirme	Ortalama 20 cm
(Stelzer vd. 2004)	TDoA (Time Difference of Arrival / Varış Süresi Farkı)  Ağırlıklı ortalama kareler	10 m
(J. Zhou ve J. Shi 2011)	Multilaterasyon yöntemi  3' ten fazla okuyucu ile daha hassas konum tahmini yapılmıştır.	0,0524 m  0,053 m
LANDMARC (Ni vd.2004)	Referans taşıyıcılar yerleştirilmiş ve k-NN algoritması kullanılmıştır.	2 m

#### 4.2. 3 Boyutlu Düzlemde RFID Konum Belirleme

2 boyutlu düzlemde saptanan konumlar düz alanlarda kullanıma elverişli olsa da gerçek hayat şartlarında özellikle depolarda yer alan raf yapıları için doğru konumun kestirimi 3. Boyut ihtiyacını doğurmaktadır. Raf yapıları depoda maksimum verimlilik amacı ile ilgili ürün gruplarının bir arada tutulduğu ve alandan tasarrum amacı ile kullanılır. Etiketli ürünün bulunduğu konumda raftaki yüksekliğinin tespiti için gereken asıl unsur ilgili üçgenlemede yer alan antenlerin üstüne birer anten yerleştirmekle mümkün olabilmektedir. Burada amaç her iki antenin aynı etiketten okuduğu sinyalin açısına göre geliş açısı yada geliş zamanı ile hesap yapmaktır. TDOA(Time Difference of Arrival/Geliş zamanı) aynı dikey konumdaki ve farklı yükseklikteki antenlerin okumuş olduğu sinyalin geliş sürelerinin hesaplanması açısız

değeri ortaya çıkartmaktadır (Yin vd, 2016). İlgili tüm antenlerde yer alan bu ilave anten sayesinde etikete sahip nesnenin konumunu kestirmek mümkündür.



Şekil 5. UHF Anten Konumlandırma Haritası

## 5. RFID SİSTEMLERİNDE KULLANILAN YAZILIM TEKNOLOJİLERİ

UHF Antenlerin üreteceği bilginin işlem göreceği veritabanına aktarılması için her bir antenin göndereceği bilginin gönderdim cevabını beklemesi sistemin yükünü arttıracak ve gerçek zamanlı işlem deneyiminden uzaklaştıracaktır. Bu sebeple farklı ara çözümlerin kullanımı sistemin hız ve maliyetlerini olumlu yönde etkileyecektir. Sistemin amacı isteklerin mesajlar halinde kuyruğa alınmasını sağlamaktır. Bu sayede 5 katmanlı bir yapı inşa etmek mümkün olacaktır.

### 5.1. Donanım Katmanı

1. Katman donanım katmanı olan UHF antenlerdir ve bu antenler üzerinde yer alan mikro işlemciler sayesinde antenden alınan değer RabbitMQ da belirlenen kuyruğa atılması sağlanacaktır. Kuyruk yapısı, sistemin doğası gereği sadece string(cümle) bilgisi kabul etmektedir. Bu durumda devreye JSON girmektedir. Göndermek istenilen bilgi model olarak düşünülmeli ve model içerisinde minimum işe yarayacak öğeler ile JSON mesajı oluşturulmalıdır.

#### 5.1.1 RFID Anten

RFID anten tercihi pasif etiketlerin kullanımından ötürü UHF anten olarak belirlenmiştir.

#### 5.1.2 RFID Anten Entegrasyonu

Anten entegre devresi ARDUINO olarak belirlenmiştir. Bu uygulama sonucunda elde edilen veriler ile uygun devre entegre devresi belirlenebilir. Bu uygunluk maddi ya da çevresel durumlar göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

## 5.2. Mesaj Kuyruğu Katmanı

RFID antenlerden edinilen bilginin sunucuya taşınması işlemi için senkron bir sistemin kurgulanması her etiket okumanın ardından sunucuda sıra beklemek anlamına gelecektir. Buna çözüm olarak orta katman bir mesaj yapısı asenkron olarak kurgulanmıştır. Asenkron olma amacı mesajların iletirme talebinin ardından antene bağlı devre kartının işlem sırası beklememesidir. Bu alanda kendini ispatlamış farklı ürünlere ilişkin araştırmalar incelenmiştir. “Comparative Study of Middleware solutions For Control and Monitoring systems” araştırmasının sonucunda elde edilen bilgiler ile C# yazılım dilini desteklemesi ve MQTT protokolünü üzerinde barındırmasından ötürü RabbitMQ tercih edilmiştir. Burada mesaj kuyruğu aynı zamanda kayıt atabilen ve kayıt okuyabilen bir servise sahiptir. Kayıt atılması ve okunması işlemleri birer talep yapısı ile çalışmaktadır. Gönderilen komutun yayın ya da abonelik mantığı ile kayıtların kuyruğa atılması ya da kuyruktan çekilmesi bilgilerini içermesi gerekir. Kuyruğa atılması gereken JSON paketi bilgiler RFID Konum belirleme sistemlerinde minimum olarak aşağıdaki maddeleri içermelidir.

- Anten Grubu
- RSSI
- Anten Numarası
- Barkod
- OkumaTarihi

Şekil 6. da örnek bir JSON datası gösterilmektedir. Tablo 2 de karşılaştırmalara yer verilmiştir. Bu bilgilerin kuyruktan alınması için 3. Katman olan servis katmanı devreye girmektedir.

```
{  
  "AntenGrup": "AG1",  
  "RSSI": "87",  
  "AntenNumarasi": "AG1_2041175501",  
  "Barkod": "326D423D-B2E1-4F61-92F0-0B8C00471D14",  
  "OkumaTarihi": "2018-05-19T17:26:56.1363464+03:00"  
}
```

Şekil 6. JSON Mesajı

## 5.3. Servis Katmanı

Servis katmanı muhtelif kuyruklardaki kayıt altındaki bilgileri asenkron olarak okur ve JSON mesajlarını anlamlı modellere çevirir. Anlamlı model denilmesindeki amaç nesne tabanlı programlama da haritalanmış nesnelere anlamına gelir. Bu sayede daha akıcı bir yazılım ortaya çıkacak ve yazılım bakım maliyetleri de okunabilir yazılımlar sayesinde aşağıya düşecektir. 3. Katman olan servis katmanının bir diğer amacı ise almış olduğu bilgileri 4. Katman olan veritabanı katmanına aktarmaktır. Servis katmanında yazılım dili C# olarak belirlenmiştir. Bu dilin tercih edilme sebebi tamamen bilgi birikimi ile alakalıdır.

Tablo 2. Mesaj Kuyruğu Ürünleri Karşılaştırması

Ortaklar/ Özellikler	ZeroMQ	RabbitMQ	Apache Qpid	YAMI4	Mosquitto
<b>Geliştirme Dili</b>	C++	Erlang	JAVA, C++	C++, Objective C	C
<b>Çıkış Yılı</b>	2007	2007	2005	2010	2009
<b>Kullanılan Uygulamalar</b>	Hootsuite Mongrel, Zato, Zero Cache	UIDAI, Google Compute Engine, Mozilla, AT&T	PowerVC IBM Power Virtualization Center	Intel Galileo	Facebook Messenger, Mobile Platforms
<b>Broker/ Brokerless</b>	Brokerless	Brokered	SEMI	SEMI	Brokered
<b>Desteklediği Mesaj Deseni</b>	Request-Response, Pub-sub, Workload distribution	Request-Response, Pub-sub	Request-Response, Pub-sub	Request-Response, Pub-sub	Only Pub-sub
<b>Devamlılık</b>	YOK	VAR	VAR	YOK	VAR
<b>Hafif Yük</b>	EDET	HAYIR	HAYIR	EDET	EDET
<b>Protokoller</b>	ZMTP	AMQP, MQTT, REST, STOMP, STOMP over websockets, XMPP over gateway	AMQP	YAMI4- a WIRE level protocol	MQTT, Websocket
<b>Kuyruk Önemi</b>	YOK	VAR	VAR	VAR	YOK
<b>Lisanslama</b>	LGPLv3 with a static linking exception	Open Source for Development and Commercial for Support	Open Source (Apache 2.0)	GPL (open source applications) & Commercial License (closed source)	Open Source (EPL/EDL)

#### 5.4. Veri Tabanı Katmanı

Tablo 3 de yer alan özellikler ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak Veritabanı katmanında özellikle NoSQL tipindeki bir veritabanı tercih edilmiştir. NoSQL veritabanları yapıları gereği ilişkisel veriler barındırmamaktadır ve ilişkiler ya cache ortamlarında ya da yazılımın içinde sağlanmaktadır (Ribeiro vd, 2017). Güncel teknolojiler üzerinde yapılan araştırmalarda MongoDB ücretsiz olması ve geliştirici kolaylıkları göz önünden bulundurularak tercih edilmiştir. MongoDB katmanı verinin saklandığı JSON tipinde veri saklayan dosya bazlı sistemdir. MongoDB tercih edilme sebebi araştırmaların özellikle sorgulama da ciddi avantajları olduğunu göstermektedir.

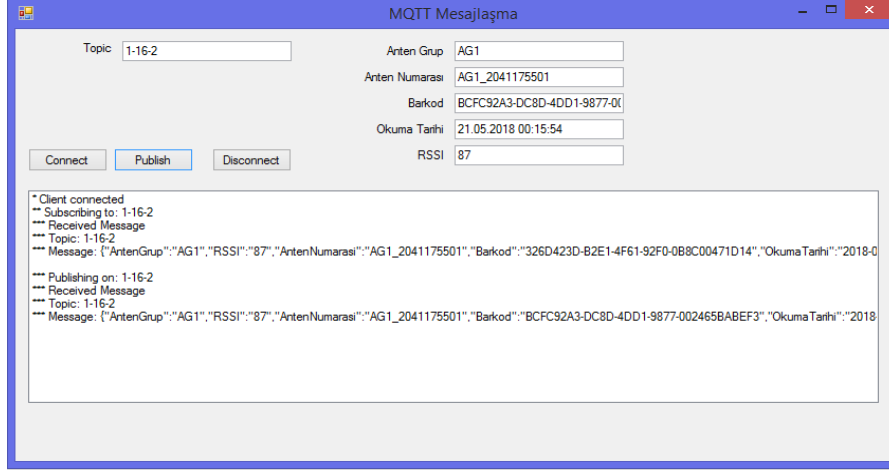
**Tablo 3.** NoSQL Ve İlişkisel Veritabanı Karşılaştırması

Özellik	NoSQL	RDMS
Performans	Güçlü	Zayıf
Güvenilirlik	Zayıf	Güçlü
Erişilebilirlik	Güçlü	Güçlü
Tutarlılık	Zayıf	Güçlü
Veri Alanı	Optimize	Orta Ölçekli
Ölçeklenebilir	Güçlü	Güçlü(Pahalı)

#### 5.5. Kullanıcı Arayüzü

Anlamlandırılmamış her bilgi sadece yer kaplayan bilgidir mantığı ile düşünülmesi ve anlamlandırma işlemini kullanıcı isteğine göre değerlendirilmelidir. Örneğin kullanıcılarımız RFID sistemini depo yönetim sistemi üzerinde kullanacak ise bu sistemin mutlaka depo sayım özelliği de olmalıdır. Bu durumda kullanıcı çalıştırmak istediği bu raporu belirli tarih aralıklı olarak seçebilir, bu durumda MongoDB nin hızlı sorgulama yeteneği ve kullanıcı arayüzünde RSSI değerlerinin mantıklı bir çerçevede işlenmesi sağlanacak ve değerler kullanıcıya özet raporlar ya da iş küpleri halinde geri dönecektir. Yazılım dili olarak C# tercih edilmiştir. Şekil 7 de uygulamanın ir ekran örneği verilmiştir.





Şekil 7. Kullanıcı Arayüzü

## 6. SONUÇ

Pek çok alanda kullanımda olan RFID sistemler bu makalenin devamı niteliğindeki çalışma da depo yönetim sistemlerinde de kullanılacak şekilde kurgulanmıştır. Depo yönetim sistemlerinin ihtiyaçları mevcut standart barkod yapısı ve süreçleri göz önüne alındığında standart barkodlara istinaden daha güçlü bir kurguya sahiptir. Teknolojik açıdan da değerlendirildiğinde özellikle depo yönetim sistemlerinin genel yoğunluğu ve iş süreçlerinin zamansal kayıpları RFID sistemleri ile telafi edilebilir durumdadır. Kullanılan ya da kullanılacak teknolojilerin değerlendirmeleri güncel örnekler üzerinde değerlendirilmiş ve en verimli oldukları alanlara göre seçilmiştir. RabbitMQ, MongoDB ve MQTT üçlüsünün sağlayacağı imkanlar ile standart barkod sistemleri çok geride kalabilir. Standart barkod ve RFID ile karşılaştırma yapılmasındaki temel amaç Endüstri 4.0 ile hayatımıza girecek olan otonom depo yönetim sistemlerinin doğru yatırımlarla ve daha sağlam bir süreç mimarisi ile işlenebilir olmasını açıklamaktır. Depolarda otomasyon daha az insan gücü, daha az maliyet ve daha kesin bilgi temellerine dayanmaktadır. Karşılaştırma sonucunda çıkan veriler ilgili yatırımların doğru yönlendirilmesi için yol gösterici olmayı hedeflemektedir. Çalışmalar değişmez fiziki şartlara sahip bir depo ve ortalama tüketimi belli bir üretim yapısında gerçekleştiği için yatırım bütçeleri açısından değerler oldukça yol göstericidir. Standart barkod etiketleme yöntemi ile yapılan işlemlerin artışı barkodun basılı olduğu etikette sadece tekil anahtar değil aynı zamanda ürüne ait bilgileride içerebilir olmasıdır. Bunun en önemli avantajı depo çalışanının ürüne ait belirli bilgileri hızlıca okuyabilmesidir. Bu özellik RFID etikette mümkün olmamaktadır. Standart barkod içerisinde yer alan bilgiler ilgili envanterin kesin konum bilgisini içerecek şekilde olsa da gerçek zamanlı bir durumda bu garanti edilemez ve sadece yazılı bir bilgidir ibaret olacaktır. Yatırım maliyeti açısından düşünüldüğünde RFID yapısından bir miktar daha ucuza gelmektedir. Ancak çevresel açıdan oldukça fazla geridönüşümsüz atık bırakması dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. RFID antenlerde fiyat dezavantajının temel sebebi anten adetlerini fazla olmasından

kaynaklıdır ancak bunun asıl sebebi UHF antenlerin ölçüm yeteneklerinin ve kesin konum bilgisinin artırılmasıdır. Şekil 5 üzerinde ki yan yana konumlandırılan antenler görüş açılarındaki sebebi ile çoklamaları kesinlik oranını arttırmak amacı ile konumlandırılmıştır. RFID nin fiyat dezavantajı ile birlikte kullanım kolaylığı, depoda yer alan ürünlerin türüne ve sayısına ilişkin değerlerin anlık olarak okunabilmesi. Ürünün hangi koordinatta olduğu hakkında bilgi vermesi hem depo yönetim süreci açısından hızlı hemde güven esasına dayalı bir yapı oluşturması bakımından avantajlı durumdadır. Ayrıca çevresel faktörler ve geridönüşümlü ürünlerinde ülke ve dünya genelindeki etkileri göz ardı edilemez. RFID ile lokasyon takibi pek çok alanda kullanılmakla birlikte benzeri depo yönetim sistemleri içinde oldukça uygun bir çözümdür. Yapılan araştırmalar sonucunda RFID ile depo yönetimi yenilikçi bir bakış açısı katmasından, adam saat açısından ve güven esaslı bir yapıya oturtulmasından ve çevreci olmasından ötürü tercih edilebilir olarak değerlendirilmiştir.

#### KAYNAKLAR

- Bouet, M., and Dos Santos, A. L.,** (2008), “RFID tags: Positioning principles and localizatin techniques” 2008 1st IFIP Wireless Days, Dubai,1-5.
- Demiral, E., Karas, İ.R., Turan, M.K.,** (2013), RFID sistemleri ile konum belirleme uygulamaları. 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay, Ankara.
- Hua, M. C., Peng, G. C., Lai, Y. J., Liu, H. C.,** (2013), “Angle of Arrival Estimation for Passive UHF RFID Tag Backscatter Signal” Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing 20-23 Aug. 2013.
- Khong, G., and White, S.,** (2005), Moving right along: Using RFID for Collection Management at the Parliamentary Library, InformationOnline 12 th Exhibition & Conference, Sydney, 1-12.
- Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., Patil, A. P.,** (2004), LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, Wireless Networks, 701–710.
- Niculescu, D., and Nath, B.,** (2003), “Ad hoc positioning system (APS) using AOA,” in INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, 3, 1734–1743.
- Simsim, M. T., Khan, N. M., Ramer, R., Rapajic, P. B.,**(2006), “Time of Arrival Statistics in Cellular Environments,” in Proc. IEEE 63rd Vehicular Technology Conf., 2006.
- Stelzer, A., Pourvoyeur, K., Fischer A.,** (2004), Concept and application of LPM — a novel 3-D local position measurement system. IEEE Trans. Microwave Theory Techniques; 52(12), 2664–9.

**Patro, S., Potey, M., Golhani, A.,** (2017), “Comparative study of middleware solutions for control and monitoring systems” Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2017 Second International Conference on Computer and Communication Technologies.

**Ribeiro, J., Henrique, J., Riberio, R., Neto, R.,** (2017), “NoSQL vs relational database: A comparative study about the generation of the most frequent N-grams” 2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI).

**Yin, J., Wan, Q., Yang, S., Ho, K. C.,** (2016), “A Simple and Accurate TDOA-AOA Localization Method Using Two Stations” IEEE Signal Processing Letters, 23(1).

<https://searcherp.techtarget.com/definition/warehouse-management-system-WMS>, (Erişim Tarihi: Mayıs, 2018).

<http://www.qstockinventory.com/blog/warehouse-management-system>, (Erişim Tarihi: Mayıs,2018).