

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

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

Yıl:21
Year:21

Sayı:42
Vol:42

2022-Güz
2022-Fall

Istanbul Commerce University
Journal of Science

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



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

DERGİSİ

Yıl: 21

Sayı: 42

Güz 2022

Year: 21

Volume: 42

Fall 2022

Istanbul Commerce University
Journal of Science



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

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



İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of İstanbul Commerce University</i>	Prof. Dr. Yücel OĞURLU <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi Rektörü İstanbul Commerce University Rector</i>
Editör <i>Editor</i>	Doç. Dr. Berk AYVAZ <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Yardımcı Editör <i>Assistant Editor</i>	Arş. Gör. Kader ŞİMŞİR ACAR <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Alan Editörleri <i>Associate Editors</i>	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Prof. Dr. Doğan KAYA <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Dil Editörü <i>Language Editor</i>	Dr. Öğr. Üyesi Elif NURAY YILDIRIM <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü <i>Publishing Manager</i>	Yasin DEMİRBAŞ <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Yönetim Yeri <i>Head Office</i>	İstanbul Ticaret Üniversitesi / İstanbul Commerce University
Yazışma Adresi <i>Corresponding Address</i>	Küçükyalı E-5 Kavşağı, İnönü Cad. No: 4 Küçükyalı-34840 İstanbul-TÜRKİYE Tel: 0 216 444 0 413 (3141) e-posta: fendergi@ticaret.edu.tr
İnternet Adresi <i>Web Address</i>	https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbid
Yayın Türü <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>
Yayın Dili <i>Publication Language</i>	Türkçe ve İngilizce <i>Turkish and English</i>
Online Yayınlanmaktadır <i>Published Online</i>	ISSN : 1305-7820 E-ISSN : 2587-165X
Derginin Tarandığı Kaynaklar	

Yayın Kurulu <i>Editorial Board</i>	Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	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	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye
	Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI	İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Danışma Kurulu <i>Advisory Board</i>	Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Adnan ÇALIK	Süleyman Demirel 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	Azerbaycan Milli İlimler Akademisi, Bakü, Azerbaycan
	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. Habip DAYIOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Hasan GENÇ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye
	Prof. Dr. Heybetkulu S. MUSTAFAYEV	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, Elazığ, Türkiye
	Prof. Dr. Muammer KALYON	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Murat KOCA	Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
	Prof. Dr. Murat SARI	Yıldız 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. Sibkat KAÇTIOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Vatan KARAKAYA	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye
	Prof. Dr. Yasin ÜST	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Yusuf ZEREN	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI	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. İbrahim DEMİR	Türkiye İstatistik Kurumu, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Kadri DOĞAN	Artvin Çoruh Üniversitesi	
Doç. Dr. Merve İLKHAN KARA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. Murat KİRİŞÇİ	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Serhan YARKAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Yunus ATALAN	Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi M. Alper ÖZPINAR	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	

42. Sayı HAKEM LİSTESİ / REVIEWER LIST

Prof. Dr. Ersoy ÖZ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Fahri ÇELİK	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Halit ÖZEN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin CENGİZ	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Prof. Dr. İsmet BALIK	Akdeniz Üniversitesi
Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Doç. Dr. Erdem YAVUZ	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK	İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Doç. Dr. Gülbin ÇETİNKALE DEMİRKAN	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Doç. Dr. Hikmet ELDEK GÜNER	İzmir Demokrasi Üniversitesi
Doç. Dr. İsmail BAYER	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. İzzet YÜKSEK	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet SONMEZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa Cem KASAPBAŞI	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa NAMDAR	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Öyküm Esra YİĞİT	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Savaş Selahattin ATEŞ	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Şenol ÇELİK	Bingöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan TIRNAKÇI	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇENE	Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fazlı ÖZTÜRK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatma Gül ALTIN	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gül Aslı AKSU	Kastamonu Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin AKŞİT	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi N. Tuba YILMAZ SOYDAN	Marmara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özgür Can TURNA	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Dr. Öğr. Üyesi Simay KIRCA	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Dr. Öğr. Üyesi Tuba Nur OLGUN	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tekin YILMAZ	Gümüşhane Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz DELİCE	Yalova Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep TURGUT AKGÜN	İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Dr. Coşkun PARİM	Yıldız Teknik Üniversitesi

EDİTÖRDEN

Değerli İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okurları,

Dergimizin 21. yılına girmişken, 2022 Güz döneminde yayımlanan 42. sayıyı değerli okurlara ulaştırmaktan onur duymaktayız.

Dergimizin bu sayısında İstatistik, Endüstri Mühendisliği, Mimarlık, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği, Deniz ve Gemi Mühendisliği, Kimya ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği 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 21st year of our journal, we are honored to share with you our esteemed readers the 42nd issue of the Fall 2022 edition.

In this issue, we are pleased to publish fifteen articles from the fields of Statistics, Industrial Engineering, Architecture, Civil Engineering, Computer Engineering, Naval and Ocean Engineering, Chemistry and Electrical-Electronic Engineering 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.

Istanbul 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

İstatistik / Statistics

- PANDEMİ SÜRECİNDE ÇAĞRI MERKEZİ ÇALIŞANLARININ TÜKENMİŞLİĞİNE COVID-19 HASTALIĞININ ETKİSİ** 170
IN PANDEMIC PERIOD THE EFFECT OF COVID-19 ON BURNOUT OF CALL CENTER EMPLOYEES
Samet BABADAĞ, Özlem DENİZ BAŞAR

- KARDİYOVASKÜLER HASTALIK TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI** 183
COMPARISON OF THE MACHINE LEARNING CLASSIFICATION ALGORITHMS IN THE CARDIOVASCULAR DISEASE PREDICTION
Gamze KABA, Seda BAĞDATLI KALKAN.

Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering

- HAVAYOLU EKİP ROTASYON OPTİMİZASYONU İÇİN GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI** 194
GENETIC ALGORITHM APPLICATION FOR CREW PAIR OPTIMIZATION IN AIRLINE CREW PLANNING
Mücahit Taha AZ, Berk AYVAZ

- BOX-JENKINS YÖNTEMİYLE ÇİLEK SATIŞ FİYATLARI İÇİN TAHMİN MODELİ KURULMASI VE TAHMİN SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ** 211
ESTABLISHING A FORECAST MODEL FOR STRAWBERRY SALES PRICES BY BOX-JENKINS METHOD AND EVALUATION OF THE FORECAST RESULTS
Begüm AKAN, Emin Başar BAYLAN

Mimarlık / Architecture

- ADANA'DA YEREL YÖNETİMLERİN ÇEVRESEL KARAR VERME SÜREÇLERİNDE KATILIMIN ROLÜ: SARIÇAM, CEYHAN VE KOZAN ÖRNEKLERİ** 235
THE ROLE OF PARTICIPATION IN ENVIRONMENTAL DECISION-MAKING PROCESS OF LOCAL GOVERNMENTS IN ADANA: THE SAMPLES OF SARIÇAM, CEYHAN AND KOZAN
Nermin Merve YALÇINKAYA, Fadime BAĞ, Muzaffer YÜCEL

- KİLİSE YAPILARININ DÖNÜŞÜMÜNÜN GAZİANTEP ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ** 254
EXAMINING THE TRANSFORMATION OF CHURCH STRUCTURES ON THE PERSPECTIVE OF GAZİANTEP
Enes HACIARAP, Fernaz ÖNCEL
- ÇEVRE KOŞULLARININ ANITSAL YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ** 277
THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON MONUMENTAL BUILDINGS
Halil İbrahim SAĞDIÇ, Leyla SURI
- İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering**
- EVALUATION OF CURING TIME FOR MICRO CONCRETE MIXES CONTAINING SILICA FUME, NANO-SILICA AND FLY ASH** 304
SİLİKA DUMANI, NANO-SİLİKA VE UÇUCU KÜL İÇEREN MİKRO BETON KARIŞIMLARI İÇİN KÜR SÜRESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
Serkan ETLİ
- DEMİRYOLU ARAÇLARININ BAKIM MASRAFLARININ RAMS ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ** 317
EVALUATION OF MAINTENANCE COSTS OF RAILWAY VEHICLES BY RAMS ANALYSIS
Hamit Murat GEYİK, Yalçın EYİĞÜN
- EXPENDITURE ANALYSIS OF PLANNED SPECIAL EVENT PARTICIPANTS: BINARY LOGIT MODEL** 344
PLANLANAN ÖZEL ETKİNLİK KATILIMCILARININ HARCAMA ANALİZİ: İKİLİ LOGİT MODELİ
Mahmut Esad ERGİN, Vail KARAKALE
- Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering**
- ULUSAL BİLGİ VE İLETİŞİM GÜVENLİĞİ REHBERİ: İOT GÜVENLİĞİ İÇİN BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ** 353
NATIONAL INFORMATION AND COMMUNICATION SECURITY GUIDE: AN APPLICATION EXAMPLE FOR İOT SECURITY
Muttalip TULGAR, Abdül Halim ZAİM, Muhammed Ali AYDIN
- Deniz ve Gemi Mühendisliği / Naval and Ocean Engineering**
- FİLYOS LİMANI AÇISINDAN KARADENİZ'DE HİZMET VEREN RÖMORKÖRLERİN SEVK SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME** 383
AN ASSESSMENT ON TUGBOATS PROPULSION SYSTEMS OPERATED IN THE BLACK SEA FROM THE POINT OF FİLYOS PORT
Murat BAYRAKTAR, Kerim ZİYLAN
- Kimya / Chemistry**
- TÜRKİYE'DE YETİŞTİRİLEN CITRUS MAXİMA (ŞADOK) MEYVESİNİN ATIK KISIMLARINDAKİ ANTİOKSİDAN, FENOLİK VE FLAVONOİD MADDE MİKTARLARININ BELİRLENMESİ** 396
DETERMINATION OF ANTIOXIDANT, PHENOLIC AND FLAVONOID AMOUNTS IN THE WASTE PARTS OF CITRUS MAXİMA (SHADDOCK) FRUIT GROWN IN TÜRKİYE
Abayhan BURAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical-Electronic Engineering

NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS WITH V-BLAST UNDER OPTIMUM ORDERING

409

OPTIMUM SIRALAMALI V-BLAST KULLANAN DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM
Furkan KARDAŞ, Mustafa Anıl REŞAT, Serdar ÖZYURT

Derleme Makaleler / Review Articles

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

BÜYÜK VERİDE ANONİMLEŞTİRME TEKNİKLERİ VE SALDIRI TÜRLERİ: UYGULAMA ÖRNEKLERİ

422

ANONYMIZATION TECHNIQUES AND ATTACK TYPES IN BIG DATA: APPLICATION EXAMPLES

Can EYÜPOĞLU, Hamza Talha GÜMÜŞ



Araştırma Makalesi / Research Article

**PANDEMİ SÜRECİNDE ÇAĞRI MERKEZİ ÇALIŞANLARININ
TÜKENMİŞLİĞİNE COVID-19 HASTALIĞININ ETKİSİ***

**IN PANDEMIC PERIOD THE EFFECT OF COVID-19 ON BURNOUT OF CALL CENTER
EMPLOYEES**

Samet BABADAĞ¹

Özlem DENİZ BAŞAR²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1091900>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
babadagsamet@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
22.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
02.08.2022

Öz

Gelişen dünyada teknolojinin ve hizmet sektörünün artmasıyla birlikte hizmet alan müşterilerin, beklenti ve talepleri de gün geçtikçe artmaktadır. Bu sektörlerde hizmet veren kuruluşlar müşteri memnuniyetinde ve rekabet koşullarında avantaj sağlamak amacıyla, kaliteli bir çağrı merkezi sistemine ihtiyaç duyar. Yoğun iş tempolu ve stresli çalışma koşullarına sahip olan çağrı operatörlerinin, çağrı merkezini arayan kişilere daha kaliteli hizmet verebilmesi için yüksek motivasyona sahip olması gerekir. Her ne kadar yüksek motivasyona sahip olursa da zor insanlarla iletişim kurmak, çağrı operatörlerini zaman içerisinde tükenmişlik sendromuna sokabileceği öngörülmektedir. Tüm dünyada COVID-19 virüsü nedeniyle pandemi ilan edilmesi sonucu, kapalı bir ortamda maske takarak telefonla konuşmak zorunda kalan çağrı operatörlerinin daha da tükenmesine sebep olabileceği yeni bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışma, çağrı merkezinde görev yapan çağrı operatörlerinin diğer sebeplerle oluşan tükenmişliklerinin yanında COVID-19 anksiyetesinden kaynaklı bir tükenmişliklerinin olup olmadığının araştırılması, parametrik olmayan testler yardımıyla analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Yapılan araştırma sonucu COVID-19 anksiyetesinin çağrı merkezi çalışanlarının tükenmişliğine anlamlı ölçüde etki yaptığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çağrı merkezi, COVID-19 Anksiyete, tükenmişlik, parametrik olmayan testler.

Abstract

In our technologically advancing world, the service field companies with the customers expecting top level service, need well equipped call centers employing qualified operators to vie each other to achieve customer satisfaction. The employees working in stressful call service environment of those centers need to be highly motivated. The widely accepted fact is that even the best operators, under heavy work burden have to cope with inbound and outbound calls of difficult customers manifest chronic stress, emotional exhaustion and they burnout as time passes. A busy work life filled with stressful working conditions, it is thought that the declaration of a pandemic (COVID-19) virus across the world may have caused even more exhaustion to call operators talking on the phone while wearing masks in a closed place. With this scientific research on operators, it's been analysed and interpreted with the help of non-parametric tests that whether they have developed a COVID-19 anxiety added to their already existing burnouts caused by other well-known factors. These researches into the issue established remarkable negative effects of COVID-19 anxiety on the call center agents.

Keywords: Call center, COVID-19 anxiety, burnout, non-parametric test.

* Bu yayın Samet BABADAĞ isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Sütluçe, İstanbul, Türkiye.
babadagsamet@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-0560-5733.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İstatistik Bölümü, Sütluçe, İstanbul, Türkiye.
odeniz@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9430-8975.

1.GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte sunulan fırsatlar hizmet sektöründe yeni uygulamalara geçilmesine imkân sağlamaktadır. Bu uygulamalardan biri çağrı merkezi hizmetleridir. Çağrı merkezi hizmetlerinin temelinde, iletişimin hızlı ve kolay şekilde kurulması yer almaktadır. Bu bağlamda çağrı merkezi hizmetleri son dönemde büyük önem kazanmıştır. Bu sektörlerden hizmet alacak müşteriler, iletişimi çağrı merkezi hizmetleri aracılığıyla kolay bir şekilde yapabilmektedir. Çağrı merkezlerini arayan müşterilerin hızlı bir şekilde almak istediği ürünün siparişini verebildiği gibi, şikâyet ve talepleri üzerine de çözüm odaklı hizmetler alabilmektedir (Keser, 2006, s.100-119).

Anlık olarak iletişim kurmanın kolay olabilmesi açısından, çağrı merkezlerinde çalışanların iş yükü oldukça artmaktadır. Ardı ardına gelen çağrılar ve değişiklik göstermeyen çalışma biçimi, çalışanların iş performansına negatif yönde etkisinin olabileceği bir araştırma konusudur. Ancak, kalabalık kapalı ortamda peşi sıra gelen telefonları karşılamanın yanında COVID-19 hastalığın getirmiş olduğu maske takma zorunluluğun da eklenmesi, çağrı merkezi çalışanlarının tükenmişliklerine ne düzeyde etki ettiği merak uyandırmıştır.

Bu çalışma, COVID-19 hastalığının, çağrı merkezi çalışanları üzerinde herhangi bir tükenmişlik sendromu oluşturup oluşturmadığını araştırmak amacıyla anket yöntemiyle yapılmıştır. Yapılan ankette, kolayda örnekleme yöntemiyle çağrı merkezlerinde çalışan 410 kişiye ulaşılmış, katılımcılara; 5’li likert ölçekli 5 maddeden oluşan koronavirüs anksiyete ölçeği kısa formu, 7’li likert ölçekli 10 maddeden oluşan tükenmişlik ölçeği kısa formu, 6 maddeden oluşan COVID-19 bilgileri ve 5 maddeden oluşan demografik bilgilerle beraber katılımcılara toplamda 26 maddelik anket soruları sorulmuştur.

2.ÇAĞRI MERKEZİ

Çağrı merkezi denilince akla ilk olarak telefon gelir. ABD Temsilciler Meclisi’nden tarihte ilk telefonu bulan kişinin Graham Bell olmadığı, İtalyan göçmeni Antonio Meucci olduğu kararını aldı. Antonio Meucci’nin ABD’deki çalışmaları sırasında, eşi Ester felç oldu. Eşiyle iletişim kurabilmek için, eşinin yattığı yatak odasından, çalışma alanına bir kablo çekti. 1860 yılında, “teletrofono” adını verdiği ve ilk olarak telefon hattı denilebilecek sistemi tanımak amacıyla, halkı toplayıp gösteri yaptı. İtalyanca gazetelerde yayınlanan bu gösteri New York’ta haber oldu (Candaner & Kohen, 2011).

Maddi imkansızlıklar nedeniyle gerekli desteği bulamayan Antonio Meucci, teletrofono adını verdiği icadına patent alamadı. Bir zamanlar aynı laboratuvarı kullanan Graham Bell, telefon adını verdiği icadıyla oraya çıktı ve patentini aldı. Antonio Meucci, Graham Bell’in icadını çaldığı gerekçesiyle dava açtı. Yüksek mahkeme, Graham Bell’i dolandırıcılık ve sahtecilik suçları iddiasıyla yargılanmasını kabul etti. Antonio Meucci tam davayı kazanmak üzereyken 1889 yılında vefat etti. Antonio Meucci’nin vefatı sonrası dava düştü ve Graham Bell telefonun mucidi olarak anıldı (Candaner & Kohen, 2011).

Tarihte ilk defa Ford araba fabrikası tarafından hatalı olarak üretimi yapılan araçları belirlemek, müşteri memnuniyetini sağlamak ve müşterilerinden geri bildirim alabilmek için çağrı merkezi kurulmuştur (Işık, 2019, s. 75). Çağrı merkezi sektörüne giriş yapan bir başka üretim firması olan AT&T firması ile birlikte çağrı merkezi kuran birçok firma çok kısa bir zaman içerisinde multi-milyar seviyesine ulaşan bir sektör haline gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri bu yıllarda ücretsiz hatlar kurarak, yeni bir hizmet statüsü kurmuştur. Günümüzde artık ücretsiz hatlar şirketler arası rekabet avantajı olarak değil, olması gereken temel hizmet olarak kullanılmaktadır (Kohen, 2020, s. 169).

Continental Havayolları'nın 1970'li yılların başında hizmete sunduğu ilk ACD (Automatic Call Distribution – Otomatik Çağrı Dağıtıcısı) günümüzle kıyaslanamayacak kadar yüksek maliyetli ve az bulunmaktaydı. Zamanla bu teknolojinin ucuzlaması küçük ve orta ölçekli işletmelerin de bu teknolojiye ulaşabilmesi neticesinde, çağrı merkezlerinin hızlı bir şekilde gelişmesine fayda sağlamıştır (Kohen, 2020, s. 169).

ACD (Automatic Call Distribution – Otomatik Çağrı Dağıtıcısı), gelen çağrılarını değişik çağrı havuzlarında toplayarak, en uzun süre müsait durumda olan veya en az çağrı almış çağrı operatörüne dağıtımını yapan teknolojidir. Çağrılarının sıralanması FIFO (First In First Out) veya FIFS (First In First Served) kuyruk teorisine göre yapılmaktadır (Arslan, 2006, s. 58).

Genel anlamda ortak bir tanımı bulunmayan çağrı merkezinin tanımı şu şekilde yapılmaktadır. Kuruluşların hizmet verdiği ya da vereceği tüm taraflar ile (müşteriler, tedarikçiler, bayiler vb.) ilk olarak telefonla iletişim kurulmasını ya da diğer tüm temas biçimleri (web, e-posta, faks vb.) üzerinden etkileşim halinde bulunmasını sağlayan “İletişim Merkezlerine” denir (Kohen, 2020, s. 170).

Çağrı merkezinin tanımı teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yeni anlamlar kazanarak değişmektedir. Ancak, basit olarak ifade edilecekse hizmet verilen kişilerin telefon, e- posta, web, faks vb. gibi iletişim kanalları üzerinden çağrısının bir iletişim merkezi (nokta, alan, yer, kişi vb.) tarafından alınmasıdır (Kohen, 2020, s. 178-179).

Günümüzden 45 yıl önce çağrı merkezi hizmeti kuran kuruluşlar rekabette öne çıkarken, bugün bir çağrı merkezi hizmeti vermek tüm şirketler için zorunluluk haline gelmiştir. Ürettikleri ürün veya hizmetlerin tanıtımını yapmak, ürün hakkında talep ve şikayetleri müşterilerden dinlenmek çağrı merkezi hizmetleri aracılığıyla sağlanabilmektedir (Özdemir, 2018, s. 14).

İnternet çağının gelmesiyle birlikte coğrafi sınırlar kalkmış, dünyanın bir ucundan diğer ucuna hizmet ve ürün alınabilmesi, işletmeleri sürekli yeni stratejiler üzerinde arayış içine sokmuştur (Leloğlu & Yavuz, 2011, s. 11-14).

Rekabetin güçlenmesi verilen hizmetin ve ürünün kalitesini daha da arttırmak zorunda bıraktığından, hizmet verilen müşteriye kaybetmemek ve yeni müşteriler kazanabilmek adına çağrı merkezi hizmetlerinin önemi gün geçtikçe artmıştır (Leloğlu & Yavuz, 2011, s. 11-14).

Amerika'da yaklaşık 30 sene önce müşterilerine destek olmak amacıyla çağrı merkezleri kuran firmalar öne çıktıktan sonra, günümüzde çağrı merkezi hizmetini sunmayan firmalar yok denecek kadar azdır (Keser, 2006, s. 100-119).

Çağrı merkezi hizmetlerinde çalışacak personellerin birtakım meziyetlere sahip olması gereklidir. Bu meziyetleri sıralayacak olursak; iyi bir diksiyona sahip olma, hızlı klavye kullanımı, temel bilgisayar bilgisi, iyi derecede ofis programlarını kullanabilme kabiliyeti gelebilir. Bunların yanında çağrı merkezinde çalışan personellerin kişisel gelişimlerini ve hizmet kalitelerini arttırabilmeleri için; telefonla doğru iletişim, zor insanlarla mücadele, stres ve ikna yönetimi vb. gibi bir sıra eğitimlerle donatılmış olmaları meslek hayatlarında faydalı olacaktır.

Yapılan araştırmalarla elde edilen bilgiler neticesinde çağrı merkezinde çalışan personellerin genellikle kadınlardan oluştuğu anlaşılmıştır. Kadın çağrı operatörlerinin çalıştırılması, çalışmanın niteliği ile ilişkilendirildiğinde çağrı merkezi işinin diksiyonu düzgün, hitabet gücü yüksek kadın iş gücüne yönelik ihtiyaçlar doğmasına neden olduğu söylenebilmektedir (Keser, 2006, s. 100-119).

Çağrı merkezlerinde yapılan araştırmalar neticesinde, çağrı merkezinde çalışmanın stresli ve yorucu bir iş olduğu saptanmıştır. İşin stresli olmasına yol açan faktörler; personel eksikliği, uzun mesai saatleri, agresif ve zor insanlarla telefonda iletişim, karmaşık ve belirsiz iş ortamı ile sosyal stresler üreten, aynı kapalı ortamda çalışılan iş arkadaşları, takım liderleri ve daha üst yöneticilerden oluşan belirsiz diyaloglardır. Çağrı merkezi çalışanlarında görülmekte olan psikosomatik şikayetler de sistemin sorunlarından birisidir. Isic ve ark.'nın 1999 yılında yapmış olduğu çalışmada; 250 ofis çalışanları ile 250 çağrı merkezi çalışanları kıyaslanmış, sonuç olarak çağrı merkezinde çalışan kişilerin, ofis çalışanlarına göre daha yüksek oranda psikosomatik şikayetlerinin olduğu saptanmıştır (Keser, 2006, s. 100-119).

Çağrı merkezlerinde psikolojik sağlamlığın önemi büyüktür. Psikolojik olarak sağlam olmak, bireye hem özel hayatında hem de iş hayatında büyük faydalar sağlar. Özel hayatında yaşadığı bir sorunun üstesinden kolaylıkla gelebilen kişi, iş hayatında bireye avantaj sağlayarak büyük oranda başarılı kılar (Kaya, 2020).

Çağrı merkezleri 8-10 oda büyüklüğünde, en az 30-40 kişinin birlikte çalışmak zorunda olduğu yerlerdir. Çalışma mekanı ve koşullarında problemler; gün ışığına hasret kalmak, hijyen sorunu ve en önemlisi gürültü gelmektedir (Özdemir Yücesan, 2019, s. 149).

Türkiye geneli çağrı merkezi hizmetlerindeki istihdam sayısı %63'ü dış kaynak olmak üzere %15 oranda artış göstermiş ve 2021 yılı itibariyle 142.020 çağrı operatörü sayısına ulaşmıştır. Destek ve yönetici kadrolarıyla birlikte toplam 160.483 kişi çağrı merkezlerinde hizmet vermektedir (Çağrı Merkezi Derneği, 2022).

3.TÜKENMİŞLİK

Dünyada meydana gelen teknolojik, bilimsel ve sosyal yaşamdaki değişiklikler, kişiler üzerinde gün geçtikçe zihinsel, fiziksel ve duygusal anlamda baskı oluşmakta, bu durum sonucunda stres ve onun daha ileriki aşaması olan tükenmişlik kavramı 1970'li yıllardan günümüze kadar geniş bir araştırma konusu haline gelmiştir. Tükenmişlik kavramı; düşük başarı, yaşanan olaylara karşı duyarsızlaşma, iş yaşamına karşı kişinin ilgisinin azalması belirtilerinin sonucunda zihinsel, duygusal ve fiziksel yorgunluğu tarihte ilk olarak Freudenberg (1974) tarafından kullanılmış ve tükenmişlik durumunun karşılıklı (yüz yüze) ilişki gerektiren mesleklerde daha çok yaşandığı ifade edilmiştir (Tümkiye ve ark., 2009, s. 389).

Son zamanlarda sıklıkla kullanılan tükenmişlik kavramı, duygusal ve fiziksel bitkinliği tanımlamak amacıyla ilk olarak 1970'li yıllarda ABD'de müşteri hizmetleri görevlisi olarak çalışanların yaşadığı ruh halini belirtmek için kullanılmıştır (Köse, 2019, s. 194). Duygusal tükenme çalışanların hizmet verdikleri kişilere karşı duygu, sempati ya da ilgilerinin tamamen azalması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda çalışan kişiler üzerinde hizmet verdikleri kişilere karşı alaycı tavırlar ya da bir insana yakışmayan davranışlar gelişmektedir. Daha sonra alaycı davranışta buldukları kişilere karşı, onları rencide edecek şekilde hitap etme ve bu düşünce tarzında davranışlar görülmektedir. Sonuç olarak çalışan kişiler üzerinde, verilen hizmet ya da gösterilen ilginin kalitesinde bozulmalar oluşmaktadır (Tümkiye ve ark., 2009, s. 389).

Öncü araştırmalara göre tükenmişlik, yüksek motivasyona sahip kişilerin yaşam enerjilerini ve coşuklarını kaybettikleri bir sürecin sonucudur. Maslach'ın tanımı tükenmişlik ile ilgili olarak yapılan en evrensel tanımlardan bir tanesidir. Bu tanıma göre, çalışanların işlerinde gittikçe artan stres ve kronik baskı sonucu doğan zihinsel, duygusal ve fiziksel olarak güçsüz, zayıf hatta bitkin düşmüş gibi hissetmesi olarak adlandırılabilir. Tükenme kavramı üç alt boyut olarak ele alınmaktadır. Bunlar, kişilerin düşük başarıları, olaylara karşı duyarsızlaşma ve duygusal çöküntü

şeklinde. Bu konuda önemli olan durum, tükenmişliğin sürekli bir değişken olması ve kişilerin ya tam ya da hiç olacak şekilde sınıflandırma yapılmamasıdır (Tümkiye ve ark., 2009, s. 389). Tükenmişlik sendromu üç ana başlıktan oluşmakta ve bu boyutlar kişilerin hayatları üzerindeki değişimleri ifade etmektedir (Ardıç & Polatçı, 2008, s. 69).

Duygusal tükenme: Bu boyuttaki mesleki tükenmişlik kişiler üzerinde; yorgunluk, enerji eksikliği ve kendilerini duygusal yönde yıpranmış hissetmesi durumudur. Tükenmişlik kavramının literatürdeki en belirleyici ve en kritik boyutudur. Tükenmişliğin içsel boyutu duygusal tükenmedir. Duygusal tükenme yaşayan kişiler hizmet verdiği kişilere en zamanlardaki gibi yeterli hizmeti veremediğini düşünür. Engellenmişlik ve gerginlikle dolu bir birey, ertesi gün işe gitmesinin zorunluluğu büyük bir endişe kaynağıdır (Arı & Bal, 2008, s. 133).

Duyarsızlaşma: Kişiler arasında tükenmişliğin boyutunu temsil etmektedir. Hizmet verilen kişilere karşı negatif, katı tutum ve yapmış olduğu işine karşı tepkisiz kalmaya başladığını belirtmektedir (Budak & Sürgevil, 2005, s. 96). Duyarsızlaşma, insanların diğer kişilerle anlamlı ilişkiler kurmaktan uzaklaştırdığı bir aşamadır. Bu sendromu yaşayan kişi, diğer kişiler arasında duygusal bir tampon oluşturur (Işıksan, 2016, s. 374). Birey alaycı, insanları küçümseyen ve kişilere karşı duygusuz davranışlar göstererek karşı tarafa kayıtsız kalmaktadır (Şentürk, 2014, s. 2). Kişi yapmış olduğu işinden uzaklaşarak, işine karşı olumlu tavır ve davranış gösterememeye başladığını ifade etmektedir (Yiğit ve ark., 2016, s. 56).

Düşük kişisel başarı: Kişi olumsuz duygular nedeniyle kendini sürekli olarak suçlu hisseder. Kendini her işte yetersiz olarak görür. Emek verdiği çabaların boşa gitmesi ve kendinde hissettiği suçluluk duygusu bireylerin çalışmalarında motivasyonunu düşürerek başarı için göstermesi gereken emeği gerçekleştirilmesine engel olur (Annak, b.t.).

4.COVID-19 ANKSİYETE

Çin'in Hubei bölgesinde bulunan Wuhan şehrinde ilk defa tespiti yapılan virüs, tespit edilmesinden günümüze kadar dünya genelinde yayılmış, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yaşanan durum küresel bir salgın olduğu ilan edilmiştir. COVID-19 olarak adlandırılan koronavirüs hastalığı, şiddetli akut solunum yolu sendromu yaratan bulaşıcı bir hastalık olduğu anlaşılmıştır. Etiyolojisi henüz bilinmeyen bir takım viral pnömoni hastalarının incelenmesi sonucunda Çin'de daha önce görülmemiş bir koronavirüs ile karşılaşıldığı 31 Aralık 2019'da bildirilmiştir (WHO, 2020).

Bu yeni koronavirüs (COVID-19) çok hızlı bir şekilde dünya geneline yayılmış ve küresel olarak 25 Haziran 2022 saat 18:30 itibariyle DSÖ'ye bildirilen 6.327.836 ölüm, 542.915.294 onaylanmış COVID-19 vakası olmuştur (Google news, 2022). Koronavirüs hastalığı Orta Doğu Solunum sendromu olarak bilinen MERS-CoV ve Şiddetli Akut Solunum Sendromu olan SARS gibi çeşitli rahatsızlıklara neden olabilen bir türdür. Çin'de ortaya çıkan COVID-19 virüsünün SARS virüsü ile benzerliği olsa da yapılan araştırmalarına göre SARS-COV'dan farklı olduğu saptanmıştır (Biçer ve ark., 2020, s. 217).

Yaşanan bu virüs salgınının dünya geneli ruh sağlığı üzerinde etkisinin olup olmadığı henüz belli olmamış olsa bile, daha önce bilinen koronavirüs enfeksiyonların etkisi ölçülebilir. Bu salgın kişiler üzerinde stres, depresyon ve anksiyete dahil olmak üzere birçok ruh sağlığını etkileyen sorunları arttığını belirtilmektedir. Depresyon, kişilerin yaşadıkları problemler karşısında uyarılmayı veya hayal kırıklığına uğramayı ifade ederken, anksiyete başa çıkamamayı ve aşırı uyarılmayı ifade eder (Biçer ve ark., 2020, s. 217).

5.YÖNTEM VE BULGULAR

Yapılan araştırmada İstanbul Ticaret Üniversitesi Etik Kurulunun 28.02.2022 tarih ve 2-12 kurul karar numarası ile onayı alınan anket soruları sorulmuştur, ilk olarak Koronavirüs anksiyete ölçeği kısa formu: 0 (Hiçbir zaman) ile 4 (Son 2 haftada neredeyse her gün) arasında yanıt seçenekleri olan 5'li likert ölçekli 5 maddeli ve tek boyuttan oluşan ölçek sorulmuş, ölçek verilen puanların toplanmasıyla elde edilerek toplam puanın 9 ve üstü olması durumunda anksiyete oranının yüksek çıktığı kabul edilmektedir. İkinci olarak Tükenmişlik Ölçeği Kısa Versiyonu: 1 (Hiç) ile 7 (Daima) arasında yanıt seçenekleri olan 10 maddeli ve tek boyuttan oluşan ölçek sorulmuş, ölçek verilen puanların toplamının 10'a bölünmesiyle elde edilmektedir. Elde edilen puan 2,4 veya altındaysa tükenmişlik derecesi çok düşük, 2,5 ile 3,4 arasındaysa tükenmişlik tehlikesi olduğu, 3,5 ile 4,4 arasındaysa tükenmişlik yaşadığı, 4,5 ile 5,4 arasındaysa ciddi bir tükenmişlik problemi yaşadığı, 5,5 puan ve üstü ise derhal profesyonel yardım alınması gerektiğini belirtmektedir. Tükenmişlik ölçeğinden yüksek puan alan kişilerin düşük puan alanlara göre daha fazla sırt, baş ağrısı ve kronik yorgunluk yaşadıklarını bildirmektedir.

Toplanan veriler istatistiksel yöntem ile sürekli bir değişkenden elde edilen puanların normallliğini test etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov testinden yararlanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metotlardan (sayı, yüzde, ortalama± standart sapma) yararlanılırken; iki alt grubu olan değişkenler arasındaki nicel karşılaştırmalar, Mann-Whitney U testi (veriler normal dağılım göstermemesi nedeniyle) ile; ikiden fazla grup karşılaştırmalarda ise parametrik olmayan karşılığı Kruskal-Wallis testi ile yapılmış sonuçlar; %95 güven aralığında anlamlılık ise $p<0,05$ altında değerlendirilmiştir. Ölçekler arası farklılığın bulunması için Spearman korelasyon testi uygulanarak, gruplar arası farklılığın bulunabilmesi için Bonferroni testi kullanılmıştır. Yapılan tüm analizlerde IBM Inc. SPSS programının 24. sürümü kullanılmıştır.

Araştırmanın çalışma grubu 2022 yılının 1. çeyreğinde görev yapan çağrı merkezi çalışanlarından oluşmaktadır. Çağrı merkezinde çalışan 257'si kadın ve 153'ü erkek olmak üzere toplam 410 çağrı merkezi çalışanına ulaşılmıştır. Katılımcılara tükenmişlik ve COVID-19 anksiyete ölçekleri sorulmuş, ölçekler arası farklılığın bulunabilmesi için Spearman korelasyon testi uygulanarak ölçekler arasında .0412 değerinde anlamlı bir farklılık bulunmuştur.

Anket verilerine göre ölçek puanlamaları yapıldığında COVID-19 Anksiyete 376 (%91,7) kişide düşük, 34 (%8,3) kişide yüksek, Tükenmişlik durumu 145 (%35,4) kişide çok düşük, 111 (%27,1) kişide tükenmişlik tehlikesi var, 81 (%19,8) kişide tükenmişlik mevcut, 40 (9,8) kişide ciddi bir tükenmişlik problemi var, 33 (%8) kişinin derhal yardım alması gerek olduğu saptanmıştır.

Tablo 1. Çağrı merkezi çalışanlarının sosyo-demografik özelliklerine göre tükenmişlik puan ortalamaları.

Değişkenler	n (%)	Ortalama (±SS)	t Test/P
Cinsiyet			17203.5/.034
Kadın	257 (62.7)	3.23 (±1.40)	
Erkek	153 (37.3)	2.95 (±1.49)	
Eğitim durumu			8.235/.016
Lise	13 (3.2)	2.62 (±0.97)	
Ön lisans	319 (77.8)	3.05 (±1.42)	
Lisans ve üstü	78 (19)	3.54 (±1.51)	
Çalışma süresi			14.074/.015
6 ay ve 6 aydan daha az	259 (63.1)	3.01 (±1.36)	

6 aydan fazla 1 yıl arası	22 (5.4)	3.25 (± 1.69)	
1 yıl ve 1 yıldan fazla 2 yıl arası	29 (7.1)	4.11 (± 1.43)	
2 yıl ve 2 yıldan fazla 3 yıl arası	45 (11)	3.19 (± 1.39)	
3 yıl ve 3 yıldan fazla 4 yıl arası	22 (5.4)	3.08 (± 1.51)	
4 yıl ve 4 yıldan daha fazla	33 (8)	3.05 (± 1.65)	
Daha önce hiç COVID-19 hastalığı geçirdiniz mi?			15190.5/.036
Evet	121 (29.5)	3.34 (± 1.39)	
Hayır	289 (70.5)	3.04 (± 1.45)	
Çevrenizde COVID-19 hastalığı geçiren var mı?			5660/.004
Evet	368 (89.8)	3.19 (± 1.45)	
Hayır	42 (10.2)	2.55 (± 1.26)	
Ailenizde COVID-19 hastalığı geçiren var mı?			16126.5/.001
Evet	251 (61.2)	3.30 (± 1.43)	
Hayır	159 (38.8)	2.85 (± 1.41)	
COVID-19 kaynaklı herhangi bir yakınınızı kaybettiniz mi?			14341/.019
Evet	114 (27.8)	3.37 (± 1.43)	
Hayır	296 (72.2)	3.03 (± 1.43)	
Kronik rahatsızlığınız var mı?			4819/.056
Evet	32 (7.8)	3.58 (± 1.41)	
Hayır	378 (92.2)	3.08 (± 1.43)	
Medeni durum			12179.5/.149
Evli	257 (62.7)	2.97 (± 1.53)	
Bekâr	153 (37.3)	3.17 (± 1.42)	
COVID-19 aşısı yaptırdınız mı?			3893/.717
Evet	389 (97.9)	3.14 (± 1.46)	
Hayır	21 (2,1)	2.88 (± 0.92)	
Yaş			2.632/.268
20-29 yaş aralığı	337 (82.2)	3.15 (± 1.43)	
30-39 yaş aralığı	58 (14.1)	3.14 (± 1.58)	
40 yaş ve üstü	15 (3.7)	2.51 (± 1.00)	

Tablo 1 incelendiğinde ankete katılımcıların %62,7'si kadın, %37,3'ü erkek olduğu, medeni durumu %20,2'si evli, %79,8'i bekâr olduğu, yaş aralığı %82,2'si 20-29 yaş aralığında, %14,1'ü 30-39 yaş aralığında ve %3,7'si 40 yaş ve üstü olduğu, eğitim durumu %3,2'si lise, %77,8'i ön lisans, %19'u lisans ve üstü olduğu, çalışma süresi %63,2'si 6 ay ve 6 aydan daha az, %5,4'ü 6 aydan fazla 1 yıl arası, %7,1'i 1 yıl ve 1 yıldan fazla 2 yıl arası, %11'i 2 yıl ve 2 yıldan fazla 3 yıl arası, %5,4'ü 3 yıl ve 3 yıldan fazla - 4 yıl arası, %8'i 4 yıl ve 4 yıldan daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Demografik sorular içerisinde bulunan diğer sorular incelendiğinde katılımcıların %29,5'u daha önce kendisinin COVID-19 hastalığını, %89,8'nin çevresinde bulunan kişilerin COVID-19 hastalığını, %61,2'sinin ailesinde COVID-19 hastalığını geçirmiş olduğu, %94,9'unun COVID-19 aşısını yaptırdığı, %7,8'inin ise kronik bir rahatsızlığı olduğu saptanmıştır. Tablo 1'de Çağrı merkezi çalışanlarının sosyo-demografik özelliklerine göre tükenmişlik puanları incelendiğinde; çağrı merkezi çalışanlarının anlamlı düzeyde tükenmişliği anlaşılmıştır. Yaşanan tükenme durumunun cinsiyete göre farklılığının olduğu, kadın çağrı operatörlerinin tükenmişlik puan

ortalamalarının erkek çağrı operatörlerinin tükenmişlik puan ortalamalarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

İkiden fazla gruplar için farkın kaynağını bulabilmek üzere post hoc testlerinden Bonferroni testi kullanılmıştır. COVID-19 anksiyete puanlarının ikiden fazla gruplar arasında (yaş, çalışma süresi ve eğitim durumu) herhangi bir fark olmadığı saptanmıştır. Tükenmişlik puanlarının ikiden fazla gruplar arasında eğitim durumu ve çalışma süresi arasında farklılıklar olduğu anlaşılmış yaşa göre herhangi bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Tükenmişlik puanlarına göre gruplar arasındaki farklılığın kaynağını bulabilmek için yapılan post hoc testinin (Bonferroni) tabloları tablo 3 ve tablo 4'te verilmiştir.

Çağrı merkezi çalışanlarının eğitim durumlarına göre tükenmişlik olduğu saptanmıştır. Eğitim durumları arasında lisans ve lisans üstü eğitim durumlarının diğer lise ve ön lisans eğitim durumlarına göre daha yüksek tükenmişlik durumu yaşadığı anlaşılmıştır. Çağrı merkezi çalışanlarının çalışma süresine göre tükenmişlik olduğu saptanmıştır. Çalışma süreleri arasında 1 yıl ve 1 yıldan fazla 2 yıl arası puan ortalamalarının diğer çalışma sürelerine göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Çağrı merkezi çalışanlarının daha önce COVID-19 hastalığı geçirmiş kişilerin COVID-19 hastalığı geçirmemiş kişilere göre, çağrı merkezinde çalışan kişilerin çevresinde bulunan kişilerin COVID-19 hastalığına yakalanma durumuna göre, ailesinde COVID-19 hastalığı geçirmiş kişilerin olmasına göre, COVID-19 kaynaklı yakınına kaybetmiş kişilerin diğer kişilere göre daha çok tükendiği saptanmıştır. Çağrı merkezi çalışanlarının medeni durumları, yaşı, kronik rahatsızlığı ya da COVID-19 aşısının olması tükenmişlik üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını anlaşılmıştır.

Tablo 2. Çağrı merkezi çalışanlarının sosyo-demografik özelliklerine göre COVID-19 puan ortalamaları.

Değişkenler	n (%)	Ortalama (±SS)	t Test/P
Cinsiyet			15436.5/.000
Kadın	257 (62.7)	3.02 (±4.29)	
Erkek	153 (37.3)	1.73 (±3.21)	
Eğitim durumu			1.537/.464
Lise	13 (3.2)	1.54 (±1.85)	
Ön lisans	319 (77.8)	2.69 (±4.17)	
Lisans ve üstü	78 (19)	2.09 (±3.28)	
Çalışma süresi			3.829/.574
6 ay ve 6 aydan daha az	259 (63.1)	2.58 (±3.98)	
6 aydan fazla 1 yıl arası	22 (5.4)	1.05 (±1.65)	
1 yıl ve 1 yıldan fazla 2 yıl arası	29 (7.1)	3.69 (±5.67)	
2 yıl ve 2 yıldan fazla 3 yıl arası	45 (11)	2.31 (±3.05)	
3 yıl ve 3 yıldan fazla 4 yıl arası	22 (5.4)	1.50 (±1.92)	
4 yıl ve 4 yıldan daha fazla	33 (8)	3.24 (±4.94)	
Daha önce hiç COVID-19 hastalığı geçirdiniz mi?			14325/.002
Evet	121 (29.5)	3.36 (±4.58)	
Hayır	289 (70.5)	2.20 (±3.64)	
Çevrenizde COVID-19 hastalığı geçiren var mı?			6445.5/.064
Evet	368 (89.8)	2.68 (±4.11)	
Hayır	42 (10.2)	1.26 (±2.00)	

Ailenizde COVID-19 hastalığı geçiren var mı?			18134.5/.102
Evet	251 (61.2)	2.77 (± 4.10)	
Hayır	159 (38.8)	2.18 (± 3.74)	
COVID-19 kaynaklı herhangi bir yakınınızı kaybettiniz mi?			14343.5/.013
Evet	114 (27.8)	3.70 (± 5.08)	
Hayır	296 (72.2)	2.09 (± 3.35)	
Kronik rahatsızlığınız var mı?			4088.5/.001
Evet	32 (7.8)	4.37 (± 4.56)	
Hayır	378 (92.2)	2.38 (± 3.88)	
Medeni durum			13171/.663
Evli	257 (62.7)	2.24 (± 3.41)	
Bekâr	53 (37.3)	2.61 (± 4.10)	
COVID-19 aşısı yaptırdınız mı?			4018/.895
Evet	89 (97.9)	2.55 (± 4.00)	
Hayır	21 (2.1)	2.23 (± 3.40)	
Yaş			0.725/.696
20-29 yaş aralığı	337 (82.2)	2.50 (± 3.85)	
30-39 yaş aralığı	8 (14.1)	2.95 (± 4.93)	
40 yaş ve üstü	15 (3.7)	1.93 (± 2.12)	

Tablo 2’de Çağrı merkezi çalışanlarının sosyo-demografik özelliklerine göre COVID-19 anksiyete puanları incelendiğinde; çağrı merkezi çalışanlarının anlamlı düzeyde COVID-19 anksiyetelerinin olduğu saptanmıştır. Yaşanan anksiyete durumunun cinsiyete göre farklılığının olduğu, kadın çağrı operatörlerinin COVID-19 anksiyete puan ortalamalarının erkek çağrı operatörlerinin COVID-19 anksiyete puan ortalamalarından daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Çağrı merkezi çalışanlarının daha önce COVID-19 hastalığı geçirmiş kişilerin COVID-19 hastalığı geçirmemiş kişilere göre, COVID-19 kaynaklı bir yakınını kaybetmiş kişilerin COVID-19 kaynaklı herhangi bir yakınını kaybetmemiş kişilere göre, kronik rahatsızlığı olan kişilerin olmayan kişilere göre daha çok COVID-19 anksiyetesinin olduğu saptanmıştır.

Çağrı merkezi çalışanlarının eğitim durumu, çalışma süresi, çevresinde COVID-19 hastalığı geçiren kişilerin olması, ailesinde COVID-19 hastalığı geçiren kişilerin olması, medeni durumları, COVID-19 aşısının yaptırma durumu ya da yaş farklılığının COVID-19 anksiyetesini üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını saptanmıştır.

Tablo 3. Tükenmişlik Puanları Arasındaki Farkın Kaynağını Belirlemek Üzere Uygulanan Post-Hoc Testlerine İlişkin Sonuçlar

	Eğitim Durumu (I)	Eğitim Durumu (J)	Ortalama Farkı (I-J)	SD	P
Bonferroni	Lise	Ön lisans	-0,42614	0,40413	0,877
		Lisans ve üstü	-0,91538	0,42788	0,099
	Ön lisans	Lise	0,42614	0,40413	0,877
		Lisans ve üstü	-,48925*	0,18042	0,021
	Lisans ve üstü	Lise	0,91538	0,42788	0,099
		Ön lisans	,48925*	0,18042	0,021

* Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

Tükenmişlik puanlarına göre ikiden fazla gruba sahip olan eğitim durumu arasındaki fark olduğu saptanmıştır. Gruplar arasında farkın kaynağını bulabilmek için Bonferroni testi uygulanmış test sonucuna göre ön lisans ile lisans ve üstü eğitim durumuna sahip kişiler arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde bir fark ($P=0,021$) olduğu görülmüştür.

Lise ve Ön lisans eğitim durumuna sahip kişiler arasında tükenmişlik puanlarına göre 0,05 anlamlılık düzeyinde herhangi bir fark olmadığı görülmüştür. ($P= 0,877$)

Tablo 4. Tükenmişlik Puanları Arasındaki Farkın Kaynağını Belirlemek Üzere Uygulanan Post-Hoc Testlerine İlişkin Sonuçlar

	Çalışma Süresi (I)	Çalışma Süresi (J)	Ortalama Farkı (I-J)	SD	P
Bonferroni	6 aydan daha az	6 ay - 1 yıl arası	-0,2388	0,3157	1
		1 yıl - 2 yıl arası	-1,09915*	0,27837	0,001
		2 yıl - 3 yıl arası	-0,18214	0,22959	1
		3 yıl - 4 yıl arası	-0,06608	0,3157	1
		4 yıldan daha çok	-0,04335	0,26276	1
	6 ay - 1 yıl arası	6 aydan daha az	0,2388	0,3157	1
		1 yıl - 2 yıl arası	-0,86034	0,40193	0,494
		2 yıl - 3 yıl arası	0,05667	0,36983	1
		3 yıl - 4 yıl arası	0,17273	0,42863	1
		4 yıldan daha çok	0,19545	0,39128	1
	1 yıl - 2 yıl arası	6 aydan daha az	1,09915*	0,27837	0,001
		6 ay - 1 yıl arası	0,86034	0,40193	0,494
		2 yıl - 3 yıl arası	0,91701	0,33852	0,106
		3 yıl - 4 yıl arası	1,03307	0,40193	0,158
		4 yıldan daha çok	1,0558	0,36184	0,056
	2 yıl - 3 yıl arası	6 aydan daha az	0,18214	0,22959	1
		6 ay - 1 yıl arası	-0,05667	0,36983	1
		1 yıl - 2 yıl arası	-0,91701	0,33852	0,106
		3 yıl - 4 yıl arası	0,11606	0,36983	1
		4 yıldan daha çok	0,13879	0,32581	1
	3 yıl - 4 yıl arası	6 aydan daha az	0,06608	0,3157	1
		6 ay - 1 yıl arası	-0,17273	0,42863	1
		1 yıl - 2 yıl arası	-1,03307	0,40193	0,158
		2 yıl - 3 yıl arası	-0,11606	0,36983	1
		4 yıldan daha çok	0,02273	0,39128	1
	4 yıldan daha çok	6 aydan daha az	0,04335	0,26276	1
		6 ay - 1 yıl arası	-0,19545	0,39128	1
		1 yıl - 2 yıl arası	-1,0558	0,36184	0,056
2 yıl - 3 yıl arası		-0,13879	0,32581	1	
3 yıl - 4 yıl arası		-0,02273	0,39128	1	

* Ortalama fark 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Tükenmişlik puanlarına göre ikiden fazla gruba sahip olan çalışma süresi arasındaki fark olduğu saptanmıştır. Gruplar arasında farkın kaynağını bulabilmek için Bonferroni testi uygulanmış test sonucuna göre 6 aydan daha az çalışan kişiler ile 1 yıl – 2 yıl arası çalışma süresine sahip kişiler arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde bir fark ($P=0,001$) olduğu görülmüştür.

Diğer çalışma süresine sahip kişiler arasında tükenmişlik puanlarına göre 0,05 anlamlılık düzeyinde herhangi bir fark olmadığı görülmüştür. İki den fazla tüm gruplar arasında (yaş, çalışma

süresi, eğitim durumu) COVID-19 anksiyete puanlarına göre 0,05 anlamlılık düzeyinde herhangi bir farklılık yoktur.

6.SONUÇ VE TARTIŞMA

Çağrı merkezinde çalışan ve araştırmaya katılan 410 kişinin tükenmişliklerine pandemi döneminde COVID-19 hastalığının herhangi bir etkisi olup olmadığı araştırılmış ve araştırma neticesinde anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Çağrı merkezinde çalışan çağrı operatörlerinin tükenmişlik ve COVID-19 hastalığı arasındaki korelasyon ($P=0.412$) istatistiksel olarak anlamlı olduğundan, çalışanların COVID-19 anksiyetesinin artması tükenmişlik derecesini de arttırdığı saptanmıştır. Kadın çağrı operatörlerinin (Ort: 3.23), erkek çağrı operatörlerine (Ort: 2.95) göre daha çok tükenme yaşadığı ve COVID-19 anksiyete puan ortalamalarının erkek bireylere göre yaklaşık iki kat yüksek olduğu (Kadın: Ort 3.02 / Erkek: Ort: 1.73) anlaşılmıştır ($P=0.000$). Çağrı merkezinde 1 yıl ile 2 yıl arasında çalışan (pandemi başladığı günden günümüze kadar) kişilerin diğer çalışma süresine sahip kişilere göre daha çok tükendiği görülmüştür ($P=0.015$). Daha önce COVID-19 hastalığını yakalanmış ve bu hastalığı yenmiş olan çağrı merkezi çalışanları hem daha çok tükenmiş ($P=0.036$) hem de COVID-19 hastalığına yeniden yakalanma korkusu yaşadığı anlaşılmıştır (0.002). Katılımcıların çevresinde ($P=0.004$) ve ailesinde ($P=0.001$) COVID-19 hastalığına yakalanan kişilerin olması, kendilerinin daha çok tükenmesine sebebiyet verdiği anlaşılmıştır. COVID-19 kaynaklı herhangi bir yakınlarını kaybeden çağrı merkezi çalışanlarının tükenmiş ($P=0.019$) olduğu saptanmıştır. Katılımcılar arasında kronik rahatsızlığı olan kişilerin (Ort: 4,37), kronik rahatsızlığı olmayan kişilere göre (Ort: 2,38), COVID-19 anksiyeteleri yaklaşık iki kat oranda yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Lisans ve Lisansüstü eğitim durumuna sahip bireylerin çağrı merkezinde çalışmaları, diğer eğitim durumlarına göre daha çok tükendiği anlaşılmıştır ($P=0.016$).

COVID-19 anksiyete durumunu gösteren ölçeğin puan hesaplaması yapıldığında, ankete katılan çağrı merkezi çalışanları arasında 38 (%9,2) kişinin yüksek derecede COVID-19 anksiyete durumu yaşadığı, tükenmişlik durumunu gösteren ölçek puanlaması yapıldığında ise çağrı merkezi çalışanları arasında 154 (%37,5) kişinin tükenmiş olduğu, 111 (%27) kişinin ise tükenmişlik riskinin olduğu saptanmıştır.

Tükenmişlik puanlarının gruplar arasında farklılığı incelendiğinde çalışma süresine göre; 6 aydan daha az çalışan kişiler ile 1 yıl – 2 yıl arasında çalışan kişiler arasında olduğu saptanmıştır ($P=0.001$). Eğitim durumuna göre; ön lisans ile lisans ve lisans üstü eğitim durumuna sahip kişiler arasında tükenmişlik puanlarına göre farklılık olduğu saptanmıştır ($P=0.021$).

Lisans ve lisans üstü eğitim durumuna sahip bireylerin diğer eğitim durumuna sahip bireylere göre daha çok tükenmesinin nedeni yeni bir araştırma konusu olabileceği değerlendirilmiştir. Çağrı merkezinde çalışmanın öncü çalışmalara göre herhangi bir meziyet gerektirmiyor olması ve kendilerinin eğitim gördüğü lisans alanları dışında farklı bir mesleği icra etmeleri tükenmişliklerine etki etmiş olabileceği tartışma konusu olabilir. Ayrıca, ankete katılan 410 katılımcının yaş farkının ve COVID-19 aşısını yaptırmış olmasının ya da medeni durumunun iş hayatlarında tükenmişliğine ya da COVID-19 anksiyetesine herhangi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada 1. yazar fikir, kaynak taraması, araştırma, veri toplama, analiz ve yorum üzerine katkıda bulunmuş, 2. yazar ise yorum ve eleştiri üzerine katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmanın araştırmasına katkı sağlayan Sayın Pınar KIROĞLU'na, Sayın Dilan AKYILDIRIM'a ve Sayın Mehmet Fatih EVREN'e teşekkürlerini sunar.

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

İstanbul Ticaret Üniversitesi Etik Kurulu, 20.03.2022 tarih, E-65836846-044-243190 sayılı yazısı ile katılımcılara sorulan anket sorularının etik kurallarına uygun olduğu belirtilmiştir. (Kurul tarihi: 28.02.2022, Kurul Karar No: 2-12)

KAYNAKÇA

- Annak, B. B. (b.t.). Tükenmişlik sendromu. *Diyanet Dergisi*.
<https://dergi.diyanet.gov.tr/makaledetay.php?ID=34048> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Ardıç, K. & Polatçı, S. (2008). Tükenmişlik sendromu, akademisyenler üzerinde bir uygulama (GOÜ örneği). *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(2), 69–96.
- Arı, G. & Bal, E. (2008). Tükenmişlik kavramı: Birey ve örgütler açısından önemi. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1), 131-148.
- Arslan, Z. (2006). A'dan Z'ye Çağrı Merkezi Dünyası - Çağrı Merkezi Terimler Sözlüğü (H. İlhan); (1.Baskı). *Çağrı Destek ve Yayıncılık Hizmetleri A.Ş.*, İstanbul.
- Biçer, İ., Çakmak, C., & Demir, H. (2020). Coronavirus anxiety scale short form: Turkish validity and reliability Study. *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi*, 216–225.
<https://doi.org/10.21673/anoloklin.731092>
- Budak, G. & Sürgevil, O. (2005). Tükenmişlik ve tükenmişliği etkileyen örgütsel faktörlerin analizine ilişkin akademik personel üzerinde bir uygulama. *D.E.Ü.İİ.B.F. Dergisi*, 20(2), 95-108.
- Çağrı Merkezi Derneği. (2022). 2021 Yılı Türkiye Çağrı Merkezi Pazarı Verileri. <https://www.cagrimerkezleriderneği.org/Public/Upload/Catalog/XUII6S6IE7UO2HS.pdf> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Candaner, P., & Kohen, A. (2011). *Bu Yerin Kulağı Var!* (R. KIZILER); (3. Baskı). Türkiye İş Bankası Yayınları, İstanbul.
- Google News, (2022), Koronavirüs (COVID-19), <https://news.google.com/covid19/map> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

- Işık, F. (2019). *Çağrı merkezi uygulamalarının tüketici temelli marka değerine etkisi: ampirik bir araştırma*. [Doktora Tezi], Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Işıkhani, V. (2016). Çalışanlarda Tükenmişlik Sendromu. *Akciğer Kanserinde Destek Tedavisi, 1*, 366–391.
- Kaya, F. (2020). Başa gelen çekilir mi, başa gelen yönetilir mi? Psikolojik Sağlamlığın genetiğine yolculuk. UniQ-TR. <http://www.uniq-tr.com/basa-gelen-cekilir-mi-basa-gelen-yonetilir-mi-psikolojik-saglamligin-genetigine-yolculuk/> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Keser, A. (2006). Çağrı merkezi çalışanlarında iş yükü düzeyi. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 100–119.
- Kohen, A. (2020). Çağrı merkezi gerçekleri. *Cinius Yayınları*, İstanbul.
- Köse, E. (2019). Çalışanların duygusal zekâ düzeyleriyle tükenmişlik algıları arasındaki ilişkinin araştırılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(35), 193-212.
- Leloğlu, H., & Yavuz, U. (2011). Müşteri ilişkileri yönetimi'nde çağrı merkezlerinin yeri: Çağrı merkezi örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11-24.
- Özdemir, R. M. (2018). Çağrı Merkezi Yöneticisi El Kitabı (1.Baskı). *Ceres Yayınları*, İstanbul.
- Özdemir Yücesan, G. (2019). Çağrı Merkezinde Çalışmak (1.Baskı). *NotaBene Yayınları*, İstanbul.
- Şentürk, M. (2014). Tekirdağ il merkezinde çalışan hekimlerde mesleki doyum tükenmişlik ve mobbing'e uğramanın değerlendirilmesi. <http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.11776/1136/0049328.pdf?sequence=1&isAllowed=y> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Tümekaya, S., Çam, S., & Çavuşoğlu, İ. (2009). Tükenmişlik Ölçeği Kısa Versiyonu'nun Türkçe'ye Uyarlama, Geçerlik ve Güvenirlilik Çalışması. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 387–398.
- WHO. (2020), Coronavirus. <https://www.who.int/healthtopics/coronavirus#tab=tab1> adresinden 01 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Yiğit, İ., Akpınar, T. & Taş, Y. (2016). İş Güvenliğinin Tükenmişliğe Etkisini Belirlemeye Yönelik Üniversite Hastanesinde Bir Araştırma. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12, 53-75.



Araştırma Makalesi / Research Article

**KARDİYOVASKÜLER HASTALIK TAHMİNİNDE MAKİNE
ÖĞRENMESİ SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARININ
KARŞILAŞTIRILMASI***

**COMPARISON OF THE MACHINE LEARNING CLASSIFICATION ALGORITHMS IN
THE CARDIOVASCULAR DISEASE PREDICTION**

Gamze KABA¹

Seda BAĞDATLI KALKAN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1145660>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
gamze.arkaba@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
19.07.2022

Kabul Tarihi / Accepted
01.09.2022

Öz

Makine öğrenmesi teknikleri, günümüzde birçok alanda kullanılmakta olup veri yığınlarını sınıflandırmaya ve tahmine dayalı analizler ile veriden faydalı bilgiler çıkarmamıza olanak sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile sağlık alanında kayıt altına alınan veri sayısında ciddi artışlar yaşanmaktadır. Sağlık sektöründe oluşan veri yığınlarının makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz edilerek yorumlanması, birçok hastalığın erken teşhisinde önem arz etmektedir. Bu çalışmada Kardiyovasküler Hastalığın erken teşhisine katkı sağlamak için makine öğrenmesi algoritmaları ile çalışmada kullanılan veriler üzerinde en başarılı sınıflandırma tahminini yapan algoritmaya ulaşmak hedeflenmiştir. Naive Bayes, Lojistik Regresyon, Rastgele Orman, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri olmak üzere beş farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. En başarılı performansı veren yöntem tespit edilmiştir. Olası bir kalp hastalığı tahmini üzerine yapılacak olan çalışmalar için makine öğrenmesi algoritmalarından analize uygun yöntem seçiminde fikir vermek amaçlanmıştır. Aynı zamanda, sağlık alanında yapılacak olan benzer çalışmaların güncel tutulması hastalığın erken teşhisine ve tedavisine katkı sağlayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kardiyovasküler hastalık, makine öğrenmesi, sınıflandırma algoritmaları.

Abstract

Machine learning techniques are used in many fields nowadays and allow us to classify data piles and extract useful information from data with predictive analysis. With developing technology, there is a significant increase in the number of recorded data in the field of health. With the machine learning methods, analysing and interpreting the data stacks in the field of health is important for the early diagnosis of many diseases. In this study, it is aimed to reach the algorithm that makes the most successful classification prediction on the data used in the study with machine learning algorithms in order to contribute to the early diagnosis of Cardiovascular Disease. The performances were compared by using five different machine learning methods; Naive Bayes, Logistic Regression, Random Forest, K-Nearest Neighbor and Support Vector Machines. The method that gives the most successful estimation performance has been determined. It is aimed to give an idea in the selection of the appropriate method from machine learning algorithms for the studies to be made on the prediction of a possible heart disease. At the same time, keeping up-to-date similar studies in the field of health can contribute to the early diagnosis and treatment of the disease.

Keywords: Cardiovascular disease, classification algorithms, machine learning.

*Bu yayın Gamze KABA isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
gamze.arkaba@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-5375-0161.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul, Türkiye.
sbagdatli@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3002-2983.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanları birçok alanda etkisi altına alan ve hızla gelişen teknoloji ile yaşanan veri birikimi makineler sayesinde depolanmaktadır. Kayıt altına alınan bu veri yığınları çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak analiz edilebilir. Verilerin sınıflandırılması ve analiz edilmesi hem insanlara kolaylık sağlamaktadır hem de ileriye dönük güçlü tahminlerde bulunulmasında yardımcı olmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımı, sağlık alanında özellikle kanser ya da kalp krizi gibi bazı ölümcül hastalıkların tahmin çalışmalarında erken teşhis ve iyileşme sürecine erken geçişin sağlanması adına oldukça önemlidir. Ölümcül hastalıklar, birçok farklı faktöre bağlı olarak gelişerek insanların hayatını tehdit altına almaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları hastalıklara etki eden risk faktörlerini değerlendirerek, bireylerin taşıdığı risk faktörlerini tespit eder ve hastalığın erken teşhisini tahmin etmemizi sağlamaktadır.

Uzun yıllardır küresel çapta ölümcül hastalıkların birinci sırasında yer alan hastalık türü olan Kardiyovasküler Hastalıklardan (KVH) her yıl milyonlarca insan hayatını kaybetmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, World Health Organization) verilerine göre hayatını kaybeden insanların çoğunluğunun ölüm nedenleri kalp krizi veya inme gibi ani gelişen hastalıklar ile gerçekleşmiştir (WHO, 2021). Küresel olarak tüm insanları tehdit eden bu hastalığın tahmininde makine öğrenmesi algoritmaları kullanmak, sağlık alanında tedavi çalışmalarının hızlanmasına ve gelişmesine büyük katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada Kardiyovasküler Hastalığın tanımı, önemi ve risk faktörleri ele alınmıştır. Makine öğrenmesi kavramının tarihsel gelişimi, literatürdeki yeri, türleri, aşamaları ve model başarı ölçütleri sırasıyla detaylı olarak açıklanmıştır. Çalışmanın devamında ele alınan verilerin analizinde kullanılacak makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları teorik ve uygulamalı olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Uygulanan yöntemlere ait bulgular değerlendirilerek, başarı performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda, bu alanda yapılacak olan çalışmalarda kullanılan yöntemlerin fikir oluşturması ve hastalık tanısı için bir tahmin üretme modeli kurulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Her yıl küresel olan büyük can kayıplarına sebep olan Kardiyovasküler Hastalıklar üzerine yapılan çalışmaların artması ve güncel kalması sağlık alanında büyük önem arz etmektedir. Hastalıkların teşhisi çalışmalarında makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemleri sıkça kullanılmaktadır.

Literatürde, kalp hastalıklarını etkileyen faktörler üzerine yapılan çalışmalar ve kalp hastalığı tahmininde makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılmasına dayanan bazı güncel çalışmalar incelenmiştir.

Erkuş (2015) tarafından yapılan “Veri Madenciliği Yöntemleri İle Kardiyovasküler Hastalık Tahmini Yapılması” adlı tez çalışmasında kalp ve damar hastalıklarının erken teşhisine katkı sağlamak adına veri madenciliği yöntemleri kullanarak performans karşılaştırmaları yapmıştır. Çalışmasında kullandığı veri setindeki 604 hastanın 297’si KVH tanısı konulmuş, 307’si KVH tanısı konulmamış hastalardan oluşmaktadır. İstatistiksel gruplama tekniğini kullanarak 3 ayrı veri kümesi oluşturmuştur ve her birinin üzerinde ayrı ayrı değerlendirmeler yapmıştır. Model performansını arttırmak adına nitelik seçme yöntemlerinden yararlanmıştır. Kullandığı sınıflandırıcı veri madenciliği yöntemlerinden Hidden Naive Bayes (HNB) algoritması %84,8 başarı oranı ile en iyi performansı verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çilhoroz ve Çilhoroz (2021) tarafından yapılan “Kardiyovasküler Hastalıklara Bağlı Ölümleri Etkileyen Faktörlerin Belirlemesi: OECD Ülkeleri Üzerinde Bir Araştırma” adlı çalışmalarında,

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) veri tabanı üzerinden alınan veriler ile kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümleri etkileyen faktörler incelenmek istenmiştir. Çalışmada En Küçük Kareler (EKK) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sigara içme ve alkol kullanımı zararlı alışkanlıklarının KVH'a bağlı ölümler üzerinde pozitif etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Kim ve ark. (2021) tarafından hazırlanan “Makine Öğrenimi Tabanlı Kardiyovasküler Hastalık Tahmini Modeli: Kore Ulusal Sağlık Sigortası Hizmeti Verileri Üzerine Bir Kohort Çalışması” adlı çalışmada National Health Insurance Service (Ulusal Sağlık Sigortası Hizmeti, NHIS) sağlık taraması veri setine en iyi tahmin modeli kuran makine öğrenmesi algoritmasını bulmak amacıyla Lojistik Regresyon, K-En Yakın Komşu, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Ekstra Ağaçlar, XGBoosting, Gradyan Arttırma, AdaBoost, Destek Vektör Makineleri ve Çok Katmanlı Algılayıcılar yöntemlerini uygulamışlardır. Çıkan sonuçlara göre tüm tahmin modelleri sonuçları performans ölçütlerine göre karşılaştırmışlardır ve XGBoosting, Gradient Boosting ve Rastgele Orman algoritmaları ile en iyi tahmin modeli kurulduğu sonucuna varılmıştır.

3. MAKİNE ÖĞRENMESİ SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Sınıflandırma yöntemleri denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinden olup, veri seti içerisinde kategorik yapıda bağımlı değişkenin bulunduğu problemlerde kullanılabilir. Sınıflandırma problemlerinde kullanılacak birçok sınıflandırma algoritmasının bulunması ve problem üzerinde farklı tekniklerin test edilerek karşılaştırılması ile doğruluk oranı en yüksek sonuca ulaşılabilir. Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında sınıflandırma algoritmalarından Lojistik Regresyon, Naive Bayes, Rastgele Orman, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri olmak üzere 5 farklı yöntem uygulanmış ve performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmada kullanılan algoritmalar kısaca açıklanmıştır.

3.1. Lojistik Regresyon Analizi

Lojistik regresyon analizinde amaç, her bir girdi değişkeninin çıktı değişkenindeki hangi gruba atanacağını belirlemek için doğrusal bir regresyon modeli oluşturmaktır. Algoritma sınıflandırma işlemini gerçekleştirirken bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi inceler. Lojistik regresyon analizinin uygulanabilmesi için bağımlı değişkenin kesikli ve kategorik yapıda olması gerekmektedir.

Lojistik regresyon analizinde kullanılan yöntemler bağımlı değişkenin yapısına göre farklılık gösterir. Bu yöntemler; bağımlı değişken iki kategorili yapıdan oluşuyorsa İkili (Binary) Lojistik Regresyon Analizi, ikiden fazla sıralı kategoriden oluşuyorsa Sıralı (Ordinal) Lojistik Regresyon Analizi, ikiden fazla sırasız kategoriden oluşuyorsa Çok Değişkenli (Multinomial) Lojistik Regresyon Analizi olarak gruplandırılmaktadır (Alpar, 2020).

Lojistik dağılım fonksiyonunda bağımlı değişken 0 ile 1 arasında değer alırken, bağımsız değişkenler ‘ $-\infty$ ile $+\infty$ ’ arasında değerler alabilir. Lojistik regresyon analizinde sınıflama yaparken kullanılacak olan logit model fonksiyonu başlangıçta doğrusal bir yapıda değildir. Denklemi doğrusal bir yapıya getirmek için gerekli logit dönüşümler uygulanarak doğrusal model olan Logit Modele şu şekilde ulaşılmaktadır (Güriş, 2019).

$$L_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (1)$$

3.2. Naive Bayes Algoritması

Naive Bayes algoritması, denetimli makine öğrenmesi yöntemlerinden olup bir olayın gerçekleşme olasılığı ve belli bir sınıfta bulunması durumunu koşullu olasılık yöntemi ile hesaplar. Naive bayes algoritması, bağımlı değişken kategorisi fazla olan büyük veri setlerinde daha başarılı sonuçlar verebilmektedir.

Naive bayes sınıflandırıcı algoritması adını İngiliz matematikçi olan Thomas Bayes tarafından almıştır. Bu yöntem, basit bir işleyişe sahip olduğu için ve de düşük hata oranları verdiği için günümüzde sınıflama problemlerinde fazlasıyla tercih edilmektedir. Sınıflanmamış verilerde olasılıksal tahminlerde bulunarak, verileri bulunan sınıflar arasında ait olma olasılığı en yüksek olan sınıfa atama işlemini gerçekleştirmektedir (Doğan, 2015).

Naive Bayes teoremi kısaca özetlenmiştir (Han ve ark., 2011):

n boyutlu bağımsız değişkenler kümesi $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve m sınıflı bağımlı değişkenler $C = (C_1, C_2, \dots, C_m)$ olsun. Sınıfları henüz belirlenmemiş bağımsız değişkenler üzerinde yapılan olasılık tahmin değerleri sırasıyla A_1, A_2, \dots, A_n . Böylece sınıfları bilinmeyen bir X veri seti verildiğinde X ' in X koşuluna bağlı olarak en yüksek sonsal olasılığa sahip C sınıflarından birisine ait olduğunu tahmin eder. $P(C_i|X) > P(C_j|X)$ ise $1 \leq j \leq m, j \neq i$ olduğunda $P(C_i|X)$ maksime edilmiş olur ve maksimum sonsal hipotez olarak adlandırılarak denklemi şu şekilde gösterilmektedir (Han ve ark., 2011).

$$P(C_i|X) = \frac{P(C_i)P(X|C_i)}{P(X)} \quad (2)$$

$P(X)$ değerleri tüm sınıflar için sabit olduğundan sadece $P(X/C_i) P(C_i)$ maksimize edilmeye ihtiyaç duyar. Sınıfın önceki olasılıkları bilinmediği zamanlarda, genel olarak eşit derecede olası oldukları, yani $P(C_1) = P(C_2) = \dots = P(C_m)$ olduğu varsayılır ve $P(X/C_i)$ maksimize edilir. Nitelik sayısı fazla olduğunda $P(X/C_i)$ hesabı zor olacağı için sınıf koşullu bağımsızlık varsayımı yapılır. Bu varsayımda sınıf etiketleri verilerek, girdi değişkenleri birbirinden koşullu olarak bağımsız varsayılır ve şu şekilde hesaplanmaktadır (Han ve ark., 2011).

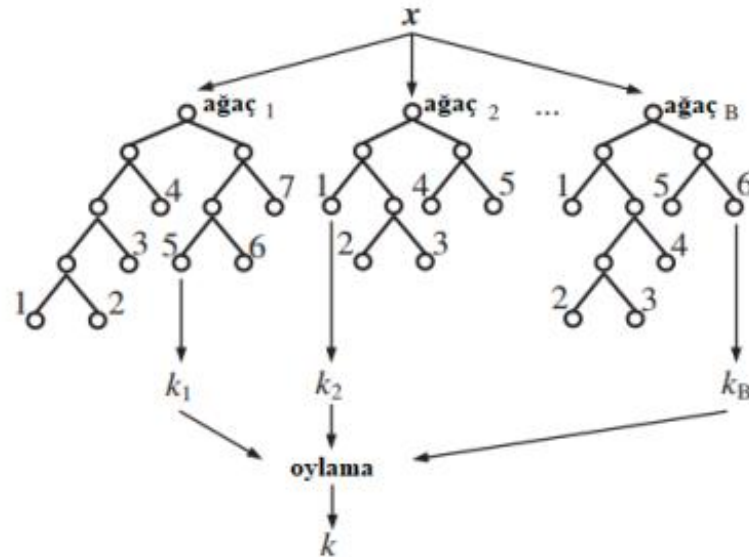
$$P(X|C_i) = \prod_{k=1}^n P(x_k|C_i) \quad (3)$$

İşlemlerin devamında bağımsız değişkenlerin kategorik değişken ya da sürekli değişken olma durumuna bakıldıktan sonra gerekli hesaplamalar yapılmaktadır (Han ve ark., 2011).

3.3. Rastgele Orman (Random Forest) Algoritması

Rastgele Orman (Random Forest) algoritması, birden fazla karar ağacı oluşturarak bir orman meydana getirir ve her ağacın sonuçlarını oylama (voting) yoluyla eleyerek ya da ortalamalarını alarak çözümler (Breiman, 2001). Bu yöntemde dallanan her bir ağaç klasik karar ağaçlarına göre daha az doğru olma eğilimindedir. Bu sebepten dolayı, dallanan her bir ağaç tahmininin toplu tahmini elde edilerek daha güçlü tahmin sonuçlarına ulaşmamız sağlanır. Tek bir ağacın tahmini, eğitim setinde küçük bir değişiklik yapılmış olsa dahi çok hassas yapıda olduğu için durumdan fazlasıyla etkilenebilmektedir. Rastgele ormandaki her ağaç tek başına zayıf bir öğrenciyken, rastgele orman güçlü bir öğrenci olabilmektedir (Lewis, 2017).

Rastgele orman algoritması ağaç yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Rastgele orman algoritması ağaç yapısı (Englund & Verikas, 2012; Cihan, 2018).

Rastgele orman algoritmasında öncelikle veri setinden örneklemin 2/3'ü eğitim, 1/3'ü test verisi olarak ayırmak için bootstrap yöntemi ile n tane örnekleme çekilir. Düğümler arasında rastgele olarak m tane tahmine dayalı değişken seçilir ve aralarından en iyi dallanmayı verecek olan belirlenir. En iyi dallanmayı verecek olan değişken belirlenirken Gini indeksi ile hesaplama yapılarak, ulaşılan değere göre veri seti her düğümden iki alt dala ayrılmaktadır. Tüm işlemler mümkün olan en geniş dallanma sayesinde yaprak düğüm elde edilinceye kadar tekrarlanarak, bütün ağaçların ayrı ayrı tahminleri birleştirilmektedir. Sınıflama ağaçları için en çok oyu alan tahmin değeri kabul edilirken, regresyon ağaçları için oylamaların ortalaması alınarak tahmin değeri elde edilmektedir (Akman ve ark., 2011).

3.4. K-En Yakın Komşu Algoritması

K-en Yakın Komşu (KNN) algoritması birbirine yakın olan gözlemlerin benzer olacağı düşüncesine dayanan parametrik olmayan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Sınıfı henüz belirlenmemiş bir gözlem değerinin diğer her bir gözleme olan uzaklığına bakılarak k ağırlık merkezli olan bir alan belirlenmektedir. Bu alan içerisinde sınıf kategorilerinden hangisi daha fazla gözlemlenebiliyorsa, gözlem değerinin o sınıfa ait olduğu tahmin edilmektedir.

KNN algoritmasında iki gözlem değeri arasındaki uzaklık ölçütünü belirlemek için genellikle Öklid yöntemini kullanmaktadır ve 4. eşitlikteki formülasyon ile hesaplanmaktadır (Altuncu, 2021).

$$d(X_i, X_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^D (X_i^{(j)} - X_k^{(j)})^2} \quad (4)$$

Öncelikle komşu sayısı olan k ve uzaklık ölçüsü belirlenmektedir. Daha sonra sınıfı belirlenmek istenen verinin k -en yakın komşuları bulunarak, sınıf etiketine oy çokluğu ile karar verilmektedir (Altuncu, 2021).

K-en yakın komşu algoritması, veri seti içerisinde aykırı gözlem ve birbiri ile uyuşmayan nitelikler var olduğunda doğruluktan uzaklaşarak düşük başarı oranı vermektedir. Yöntemin bu açıdan düşük performans sergilemesinin sebebi, her özneliğe göre eşit ağırlık atayan mesafeye dayalı yaklaşım tekniği kullanmasıdır. KNN yöntemi, bu sorunu çözmek için algoritmaya öznelik ağırlıklandırılması ve aykırı gözlem budanması sağlanarak geliştirilmiştir (Han ve ark., 2011).

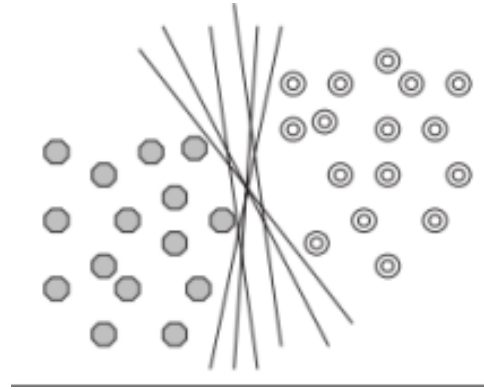
3.5. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines) Algoritması

Destek Vektör Makineleri (SVM), regresyon ve sınıflandırma problemlerinde sıkça kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır. SVM algoritmasının ilk kullanım alanı sınıflandırma problemleri olmuştur ve bu yöntemin amacı doğrusal bir hiper düzlem oluşturarak sınıfların ayrımını analize en uygun şekilde sağlamaktır. Bazı veri setlerinde sınıfların ayrımı hiper düzlem tekniğiyle doğrusal olarak ayrılmayabilmektedir. Veri setine farklı yaklaşım teknikleriyle bu problem çözümlenebilmektedir.

Destek vektör makineleri yönteminde, doğrusal olarak ayrım yapılabilen veri setlerinde her bir X_i girdi değişkeni Y_i sınıf etiketine sahip olur ve bu sınıflar -1 ve +1 olarak etiketlenir. Eğitim verilerinin ayrımını, bir hiper düzlem oluşturarak en optimum şekilde ayırmak hedeflenmektedir. Değişkenler arasındaki sınırı maksimum noktaya ulaştıran düzlemlere destek vektörler denir. Doğrusal olarak ayrılabilen verilerde karar fonksiyonu 5. eşitlikteki fonksiyon ile hesaplanır (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).

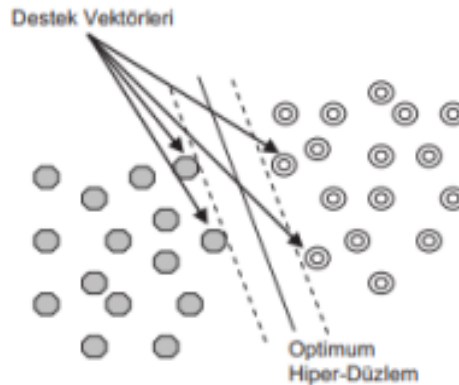
$$f(x) = \text{sign}(\sum_{i=1}^k \lambda_i y_i(x \cdot x_i) + b) \quad (5)$$

İki sınıflı bir problem için hiper düzlem örneği Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. İki sınıflı bir problem için hiper düzlemler (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).

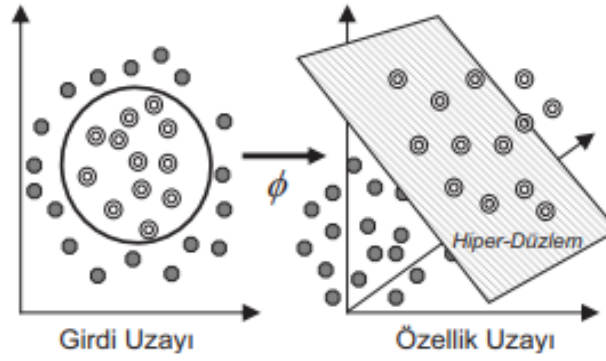
Şekil 2’de görüldüğü gibi iki sınıflı eğitim verilerini en uygun şekilde ayırmak için hiper düzlemler kullanılmaktadır. Böylece iki sınıf birbirlerinden olabildiğince uzakta kalabilmektedir. Hiper düzleme en yakın verilerin arasındaki uzaklık marj olarak adlandırılır ve marjın mesafesi optimum olana kadar çalışma devam eder. Hiper düzlem ile ayrılan iki ayrı sınıflı etiketli veriler Şekil 3’te olduğu gibi destek vektörleri ile sınırlandırılmaktadır.



Şekil 3. Optimum hiper düzlem ve destek vektörleri (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).

Bazı problemlerde veri seti içerisindeki verilerin dağılımından ya da verilerin yüksek ilişkili olması gibi durumlardan kaynaklı verilerin doğrusal olarak ayrılması mümkün olmamaktadır. Bu problemler genellikle veride boyut artırma işlemi ile çözülebilmektedir.

Şekil 4'te girdi uzayında veride doğrusal ayrılma sağlanamadığı için veri özellik uzayı olarak adlandırılan daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınmıştır. Böylece hiper düzlem ile veri sınıfları arasındaki optimum ayırım sağlanmış olur ve bu işlemi gerçekleştirmek için Kernel fonksiyonlarından yararlanılmaktadır (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).



Şekil 4. Kernel fonksiyonu ile verinin daha yüksek bir boyuta dönüştürülmesi (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).

Destek vektör makineleri çalışmalarında, veri boyutunun çok fazla olması eğitim süresini ve maliyeti arttırabilmektedir. Bu bağlamda, destek vektör makinelerinin kullanımının küçük boyutlu verilerde tercih edilmesi daha iyi olabilmektedir (Ergün & İlhan, 2021).

3.6. Model Performansı Karşılaştırma Ölçütleri

Çalışma kapsamında kullanılan veri seti, farklı makine öğrenmesi algoritmaları ile test edildikten sonra kurulan modellerin başarı performansları değerlendirilirken bazı istatistiksel ölçütlere bakılmaktadır. Model performans karşılaştırma aşamasında, tahmin değerleri ile gerçek değerler olan test değerleri karşılaştırılmalıdır. Sınıflandırma problemlerinde Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix) yani hata matrisine bakılması gerekmektedir. Örnek bir karışıklık matrisine Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Örnek karışıklık matrisi

Karışıklık Matrisi	Hasta (Gerçek Sınıf)	Hasta Değil (Gerçek Sınıf)
Hasta (Tahmini Sınıf)	DP	YP
Hasta Değil (Tahmini Sınıf)	YN	DN

Tablo 1'i incelediğimizde DP hasta olarak tahmin ettiğimiz ve gerçekte de hasta olarak sınıflandırılan bireyleri, YP hasta olarak tahmin ettiğimiz fakat gerçekte hasta olmayan bireyleri, YN hasta değil olarak tahmin ettiğimiz fakat gerçekte hasta olarak sınıflandırılan bireyleri, DN hasta değil olarak tahmin ettiğimiz ve gerçekte de hasta değil olarak sınıflandırılan bireyleri temsil etmektedir.

Buradan yola çıkarak model performans ölçütleri aşağıda açıklanmaktadır.

Doğruluk ölçütü, modelde doğru sınıflandırılan veri sayısının toplam veri sayısına oranı ile bulunur.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (6)$$

Kesinlik ölçütü, modelde doğru olarak sınıflandırılan verilerin oranının bulunmasını sağlar.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (7)$$

Duyarlılık ölçütü, pozitif değerlerin doğru sınıflandırılan değerlerinin bulunması ile belirlenir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (8)$$

Duyarlılık ve kesinlik ölçütlerinin tutarsız olduğu durumlarda iki ölçütün harmonik ortalaması alındığında F1 skor ölçütü elde edilir. Bu sayede dengesiz veri setlerinde F1 skorlama ile daha güçlü bir ölçüt değerine ulaşılmaktadır ve şu şekilde hesaplanmaktadır (Uğuz, 2021).

$$\text{F1 Skor} = 2 \frac{\text{Duyarlılık} \times \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (9)$$

4. UYGULAMA

Bu çalışma kapsamında kullanılan veri seti, kaggle.com üzerinden alınan Kalp Yetmezliği Tahmin Veri Seti (2021), “UCI Machine Learning Repository” veri tabanına kaynağına aittir. Bu veri seti, 5 farklı veri kümelerinden 11 ortak özellik altında birleştirilerek oluşturulmuş hazır veridir. Veri kaynakları; Cleveland Klinik Şirketi (Ph. D. Robert Detrano, Amerika), Macaristan Kardiyoloji Enstitüsü (Andras Janosi, Budapeşte), Zürih Üniversite Hastanesi (William Steinburnn, İsviçre) ve Basel Üniversite Hastanesi (Matthias Pfisterer, İsviçre) tarafından oluşturulmuştur. Veri seti 918 hastaya ait bilgileri içermektedir. Veri setindeki bağımsız değişkenlerden 6’sı kategorik, 5’i nümerik yapıdan oluşmaktadır. Bağımlı değişken olan Kalp Hastalığı ise (0,1) sınıflı olan kategorik yapıda bir değişken türüdür. Bağımlı değişken kategorisindeki 0 kalp hastası olmama durumunu gösterirken, 1 kalp hastası olma durumunu belirtmektedir. Veri seti 28-77 yaş aralığındaki bireylerden oluşmaktadır.

Bu çalışmanın uygulama bölümünde, günümüz programlama dillerinde kullanımı popüler olan Python 3.7 programlama dili kullanılmış ve Jupyter Notebook 6.1.4 üzerinden analiz edilmiştir. Algoritmalar Sckit-Learn (Sklearn) Kütüphanesi kullanılarak çalıştırılmış ve modeller kurulmuştur.

Veri seti analize başlamadan önce veri ön işleme aşaması kuralları takibinde çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir. Veri seti Holdout yöntemi kullanılarak %70’e %30 olacak şekilde eğitim verisi ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Eğitim veri setine K-Katlı Çapraz Doğrulama yöntemi ile 10 katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Sınıflandırma yöntemlerinden Destek Vektör Makineleri algoritmasının uygulanma sürecinde doğrusal çekirdek (linear kernel) fonksiyonu kullanılmıştır. Algoritmalar çalıştırılarak elde edilen sonuçlar Tablo 2’de karşılaştırılmış ve gösterilmiştir.

Tablo 2. Sınıflama Algoritmalarının Karşılaştırılması

Modeller	Kesinlik	Duyarlılık	F1 Skoru	Doğruluk
Rastgele Orman	0.8750	0.9089	0.8908	0.8738
Lojistik Regresyon	0.8765	0.8923	0.8836	0.8676
Naive Bayes	0.8816	0.8815	0.8811	0.8660
K-En Yakın Komşu	0.7089	0.7358	0.7216	0.6793
SVM	0.7321	0.7481	0.6935	0.6618

Tablo 2’de makine öğrenmesi Rastgele Orman, Lojistik Regresyon, Naive Bayes, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri sınıflandırma algoritmalarının tahmin performans sonuçları verilmiştir.

Genel olarak duyarlılık ve kesinlik oranları birbirine yakın değerler olduğu için herhangi bir tutarsızlık gözlenmemiştir. Elde edilen performans sonuçlarına göre Rastgele Orman algoritması ile bireylerin hastalık durumu %87,38 doğruluk ve %87,50 kesinlik oranı ile doğru tahmin edilmiştir ve böylece algoritmalar arasında en başarılı sınıflandırmayı Rastgele Orman algoritması yapmıştır.

Lojistik Regresyon analizi performansı %86,76 doğruluk oranı ile Rastgele Orman algoritmasından sonra ikinci başarılı sonucu veren algoritma olmuştur. Naive Bayes algoritması bireylerin hastalık durumunu %86,60 oranı ile başarılı olarak tahmin etmiştir. K-En Yakın Komşu algoritması sonucuna baktığımızda başarı oranında ciddi bir düşüş yaşanarak %67,93 olarak hesaplanmıştır. Son olarak Destek Vektör Makineleri diğer algoritmalara göre en düşük performans oranı olan %66,18 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan nüfus ile sağlık alanında kayıt altına alınan veriler çok büyük veri yığınları oluşturmaktadır. Kayıt altına alınan bu verilerin güvenilir bir şekilde depolanması ve bazı istatistiksel yöntemler ile analiz edilmesi sağlık alanında atılacak adımlarda ve izlenecek süreçlerde ciddi faydalar sağlayacağı için son derece önemlidir. Bu alanda yapılacak olan çalışmaların güncel tutulması hastalar için ileriye dönük tahminlerde bulunulmasına ve erken tedavi sürecine girilmesinde fayda sağlayabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler Kaggle platformu üzerinden alınan UCI tabanlı gerçek verilerden oluşan Kalp Hastalığı veri setidir. Veri seti 28-77 yaş aralığında olan 725 erkek, 193 kadın bireylerden oluşan 918 gözlem değerindeki hastalardan oluşmaktadır. Çalışmada ele alınan kalp hastalığı tahmini bir sınıflandırma problemi olarak değerlendirilerek bu doğrultuda algoritmalar kullanılmıştır.

Çalışmada denetimli makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarından olan Lojistik Regresyon, Naive Bayes, Rastgele Orman, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır. Algoritmalar uygulanmadan önce veri seti ön işleme aşaması kuralları doğrultusunda Holdout yöntemi ile %70’e %30 olacak şekilde eğitim ve test verisi olarak ayrılmıştır. Ayrıca, eğitim veri setine K-Katlı Çapraz Doğrulama yöntemi ile 10 katlı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Eğitim veri seti üzerinden algoritmalar çalıştırılarak kurulan modeller test verisi ile sınanmıştır.

Tüm algoritma sonuçları model başarı ölçütlerine göre değerlendirilerek, en başarılı modele ulaşmak hedeflenmiştir. Böylece en yüksek başarı performansını %87,38 doğruluk oranı ile Rastgele Orman algoritması verirken, en düşük başarı performansını %66,18 doğruluk oranı ile

Destek Vektör Makineleri vermiştir. Rastgele Orman algoritması kullanılarak %87,38 tahmin oranı ile güçlü bir performans yakalanmıştır. Bu doğrultuda, sağlık alanında yapılacak olan hastalık teşhisi çalışmalarında Rastgele Orman algoritması tercih edildiğinde başarılı bir tahmin modeli oluşturulacaktır.

Algoritmaların performanslarına bakıldığında, çalışmada kullanılan veri seti doğrultusunda kalp hastalıklarının tahmininde makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarının başarılı sonuçlar verebileceği öngörülmüştür. Bu çalışmada, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılacak olan benzer çalışmalarda fikir oluşturması ve hastalık tanısı için başarılı bir model kurulması amaçlanmıştır. Kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarından olan Rastgele Orman algoritması %87,38 tahmin oranı ile oldukça güçlü başarı oranı yakalamıştır ve hastalık tahmini çalışmalarında tercih edilmesi gereken bir algoritma olarak belirlenmiştir. Kardiyovasküler Hastalıklar sebebiyle yaşanan ölüm oranlarında her geçen gün ciddi artışlar yaşanmaktadır ve bu alanda yapılacak olan çalışmalarda veri seti boyutu artırılarak analizlere devam edildiğinde yüksek başarı performansları yakalanabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çatışma Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akman, M., Genç, Y. & Ankaralı, H. (2011). Random forests yöntemi ve sağlık alanında bir uygulama. *Türkiye Klinikleri Journal of Biostatistics*. 3(1), 36-48.
- Alpar, R. (2020). Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler. *Detay Yayıncılık*, Ankara.
- Altuncu, M. A. (2021). *Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak saldırı tespit ve önleme sistemi geliştirilmesi* [Doktora Tezi]. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*. 45(1), 5-32.
- Cihan, Ş. (2018). *Koroner arter hastalığı riskinin makine öğrenmesi ile analiz edilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırıkkale.
- Çilhoroz, İ. A., & Çilhoroz, Y. (2021). Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümleri etkileyen faktörlerin belirlenmesi: OECD ülkeleri üzerinde bir araştırma. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*. 12(2), 340-345.
- Doğan, A. (2015). *Bireysel araç kredilerinin yasal takibe girme durumları hakkında tahmin modellerinin oluşturulması* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Englund, C., & Verikas, A. (2012). A novel approach to estimate proximity in a random forest: An exploratory study. *Expert Systems with Applications*. 39 (17), 13046-13050.
- Ergün, Ö. N., & İlhan, H. O. (2021). Early stage diabetes prediction using machine learning methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (29), 52-57.
- Erkuş, S. (2015). *Veri madenciliği yöntemleri ile kardiyovasküler hastalık tahmini yapılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Güriş, S., & Astar, M. (2019). SPSS ile istatistik. *Der Yayınları*, İstanbul.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). Data mining concepts and techniques. *Morgan Kaufmann Publication*, USA.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*. 144(7), 73-82.
- Kim, J. O., Jeong, Y. S., Kim, J. H., Lee, J. W., Park, D., & Kim, H. S. (2021). machine learning-based cardiovascular disease prediction model: A cohort study on the Korean national health insurance service health screening database. *Diagnostics*. 11(6), 943.
- Lewis, N. D. C. (2017). Machine learning made easy with R: An intuitive step by step blueprint for beginners. *CreateSpace Independent Publishing Platform*, USA.
- Uğuz, S. (2021). Makine öğrenmesi teorik yönleri ve python uygulamaları ile bir yapay zeka ekolü. *Nobel Akademik Yayıncılık*, Ankara.
- Who Health Organization (WHO) (2021). Cardiovascular Diseases. https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1 adresinden 11 Haziran 2021 tarihinde alınmıştır.



Araştırma Makalesi / Research Article

**HAVAYOLU EKİP ROTASYON OPTİMİZASYONU İÇİN GENETİK
ALGORİTMA KULLANIMI***

**GENETIC ALGORITHM APPLICATION FOR CREW PAIR OPTIMIZATION IN AIRLINE
CREW PLANNING**

Mücahit Taha AZ¹

Berk AYVAZ²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1109524>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
mucahitahaaz@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
27.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted
02.08.2022

Öz

Bu çalışmada, havayolu şirketlerinin en büyük gider kalemlerinden biri olan ekip planlama konusu ve bu sürecin ilk adımı olan ekip rotasyonlarının üretimi için genetik algoritmalar ile bir optimizasyon algoritmasının geliştirilmesi ele alınmıştır. Ekip planlama konusu havayolu şirketlerinin yakıt maliyetlerinden sonraki en büyük gider kalemidir. Ayrıca bu konu havacılık kanun ve yönetmeliklerinde yer alan kısıtlardan dolayı personellerin kullanım oranını da etkilediğinden şirketlerin bünyesinde yer alan personellerin verimli kullanımı da ekip planlaması yapılırken etkilenen önemli bir parametredir. Çalışmada ekip rotasyonu optimizasyonu konusunda literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve pas uçuş sayısının azaltılmasıyla maliyetin minimize edilmesi konusunda geliştirilmeler yapılmıştır. Çalışmada literatürde var olan genetik algoritma operatörleri geliştirilerek daha optimize sonuçlar elde edilmiştir. Daha önce bu konuda hazırlanmış olan çözümlerin sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Havayolu ekip planlama, ekip rotasyonu, genetik algoritmalar, optimizasyon, sezgisel metotlar.

Abstract

In this study, it is addressed the airline crew scheduling problem which is one of the biggest cost elements for airline companies and to develop a new method with genetic algorithms to generate crew pairings which is the first part of airline crew scheduling with better optimization. Crew scheduling topic is the biggest cost element for the airline companies after the fuel costs. Also this topic relates to worker efficiency parameter, which is one of the most important parameters for airline companies, due to its constraints about worker usage which are written on civil aviation laws. In this study, previous works about crew pairing optimization examined and upgrades developed for the cost reduction with minimizing the number of deadhead flights. Genetic algorithm operators existing in the previous studies have been upgraded and better results provided with new improved operators. Methods and the results were compared with the previous work about the topic.

Keywords: Airline crew scheduling, crew pairing, genetic algorithms, optimization, heuristic methods.

*Bu yayın Mücahit Taha AZ isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
mucahitahaaz@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-0292-4210.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye.
bayvaz@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-8098-3611.

1.GİRİŞ

Havayolu ekip planlama problemi, havayolu planlama problemlerinin en karmaşık ve kapsamlı olanlarından biridir. Havayolu firmalarındaki personel maliyetleri, yakıt giderlerinin ardından en büyük gider kalemini oluşturmaktadır. Bu maliyetin kontrol edilerek optimize şekildeki çözülmesi, havayolu şirketleri için giderek daha unsur haline gelmiştir.

Konu ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yılların başında ortaya çıkmaya başlamıştır. Problem yöneylem araştırması alanında yer alan farklı metotlar ile çözülmeye çalışılmıştır. İlerleyen yıllarda gelişen teknolojinin yardımı ile çözüm süreleri azaltılmış, yeni yöntemler geliştirilmiştir.

Havayolu planlama problemleri kendi içinde birçok farklı alt bölüme ayrılmaktadırlar. Uçuş, stok, bakım, ekipman giderleri ve ekip eğitimlerinin planlaması bunlara örnek olarak gösterilebilir. Her planlama probleminin kendine özel ve karmaşık olan kuralları, belirlenmiş olan bir zaman periyodu ve amacı bulunmaktadır.

Ekip planlama problemlerinin farklı problemlerinden biri olan uçuş görevleri oluşturma kısmı incelenirse, büyük ölçekteki bir havayolu firması bir kalkış noktasından binlerce farklı varış noktasına uçuş yapabileceğinden milyonlarca farklı uçuş görevi ortaya çıkabilmektedir. Bu da ortaya çok fazla çözümü olabilen karmaşık bir problem çıkarmaktadır.

Problemin amacı, firma bünyesinde çalışmakta olan farklı vasıflara sahip uçuş mürettebatının, havayolu şirketinin planlamış olduğu uçuş programında eksiksiz şekilde atanmasını sağlamaktır. Uçuş maliyetine doğrudan etki eden bu problemin çözümü havayolu firmaları için yüksek öneme sahiptir. Problem Ekip Rotasyon ve Ekip Atama biçiminde iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada Ekip Rotasyon kısmının çözülmesi üzerine yeni bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Ekip rotasyon aşamasında havayolu firmasının uçuş çizelgesinde yer alan her uçuşun en az bir kapsanmasını sağlarken maliyeti minimize eden Ekip Rotasyonları kümesinin bulunmasını hedeflenir. Bu problemin ardından gelen Ekip Atama problemi ise Ekip Rotasyonunda belirlenmiş olan rotasyonlara ihtiyaç kadar sayıda mürettebatın atanmasını içerir.

Genetik algoritmalar, Darwin'in doğal seçim prensibini temel alan, biyolojik sistemlerin yaşam döngüsünü simüle eden, arama tarama algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar sezgisel metotlardan biridir. Sezgisel metotlar verilen bir problem için en iyi çözüm garantisi veremezler. Ancak mevcut metotlar aşırı büyük problemlerin çözümünü bulamadığında ve çok yüksek çözüm sürelerine sebep olduğunda, bu duruma karşılık olarak en iyiye yakın çözümleri kısa sürede sunabilmektedirler.

Bu çalışmada ele alınan problemin çözümünde genetik algoritmalar kullanılarak, havayolu ekip planlama probleminin ekip rotasyonu bölümü için bir yeni çözüm önerilmiştir. Çözümde literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak yeni bir kromozom iyileştirme operatörü kullanılmıştır. Bu geliştirilmiş yeni operatör ile daha düşük maliyetli çözümler bulunması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Konu hakkında literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Konuyla ilgili ilk çalışmalara 1960'lı yıllarda başlanmıştır. Bu konu üzerine yapılan ilk çalışmaların biri (Arabeyre ve ark., 1969) çalışmalarıdır. Çalışmada dünyanın önde gelen havayolu firmalarının kabin ekiplerini planlarken ve uçuşlara atarken tercih ettikleri yöntemleri, bakış açılarını, optimizasyon için kullandıkları

farklı teknikler üzerine bilgiler paylaşılmış, çalışmanın döneminde var olan çözümlerin problemi kesin bir çözüme kavuşturamadığı üzerine durulmuştur.

IBM TPAC programının temelini olan çalışmayı yapan Rubin, bu çalışmasında (Rubin, 1973) ilk çözümü bulmaya çalışırken yerel bir optimizasyon stratejisi tercih etmiştir. Mevcut yer alan yasal kısıtların problem setini kısıtlamada yeterli olmadığını, problem setinin kısıtlanmadığı bu durumda problem setinin yönetilebilecek bir küçülmeye ulaşmadığını, bu küçülmenin sağlanması için eklenen yapay kısıtların da problem çözülürken ortaya çıkan uygun çözümlerden bazılarının reddedilmesine neden olduğu fikrini ortaya atmıştır. Ortaya çıkan bu durumu çözmek için önce problemi çok sayıda küme kapsama problemine bölmeyi, ardından da problemin çözümünde herhangi bir algoritma kullanarak ana problemin sonucuna göre ufak iyileştirmeler elde edebileceğini söylemiştir.

Etschmaier & Mathasiel (1985) yaptıkları çalışmada 1985'e kadar ortaya koyulmuş olan çalışmalardan, çalışmalarda yer alan bilgisayar – insan ilişkisinden, yönelem araştırmalarının bu konudaki yerinden bahsetmişlerdir. Geçmiş yıllarda yaşanmış olan yakıt krizi gibi olayların etkisi ile uçuş planlama felsefesinde büyük değişiklikler yaşandığını açıklamışlardır. Sektördeki yaşanan süre süratteki değişimden dolayı uçuş ajandalarının uzun zaman önceden hazırlanması durumunun ortadan kalktığını, yolcular isteklerinin etkisiyle uçuşların zaman ve mekan değişikliğine uğrayacağına, firmaların artık filolarını bir arada tutabileceği bir merkeze ihtiyacı olduğundan bahsetmişlerdir. Şirketlerin yeni uçaklar satın alırken günümüze göre değil geleceğe göre satın alım yapmaya başladığını söylemişlerdir. Bu faktörlerin etkisiyle havayolu planlama konusunda yeni bir dönemin başladığını açıklamışlardır.

Anbil ve ark. (1992) TRIP sisteminin Kuzey Amerika'da yer alan bir havayolu firması tarafından kullanımında yaşanan, sistemin daha iyi çözümleri yok sayması durumu üzerine, bu kaliteli çözümlerin sisteme nasıl entegre edilebileceği hakkında bir model hazırlamışlardır. En başta yüksek miktarda eşleşme üreterek, devamında da eşleşmelerin her biri için bir sütun üreterek doğrusal programlama ile çözüm yapmışlardır. Böylece TRIP sisteminin sorun yaşadığı yerel optimizasyon mantığının önüne geçmeyi amaçlamışlardır. Bu yeni metodolojinin büyük problemlerin çözümünde önemli bir ilerleme imkanı sunduğunu belirtmişlerdir.

Graves ve ark. (1993) çalışmalarında dinlenme süreleri, konaklama ve ek mesai giderlerini azaltmak amacıyla iki aşamalı bir optimizasyon metodu geliştirmişlerdir. Bu çalışmada veri olarak ABD'de yer alan havayolu şirketlerinin orta ve büyük seviyedeki problemlerini incelemişlerdir. Metodolojide üretici ve iyileştirici adını verdikleri iki ayrı aşamada çözüm yapmışlardır. Metodoloji tam sayılı küme bölüntüleme yöntemi ile en düşük maliyete ulaşmak üzerine kurulmuştur.

Teodorovic & Stojkovic (1995) ekip ataması ve uçak rotalama probleminin bir araya getirerek bu konuda bir ilki ortaya atmışlardır. Çalışmalarında geliştirdikleri çok amaçlı model havayolu firmalarında yaşanan aksamaların azaltılmasını amaçlamaktadır. Aksamalar birçok farklı sebepten dolayı ortaya çıkabilmektedir. Aksama durumunda planlama sorumlusunun aksamaların yol açtığı olumsuz etkiyi minimize etmek amacıyla hızlı kararlar alması beklenmektedir. Çalışmanın ilk amacı gerçekleştirilen uçuş sayısını en yüksek düzeyde tutmak, diğer amaç ise uçuşun iptal olmadığı durumlarda yolcuların zaman kaybını minimize etmektir. Bu modelde oluşturulan rotalarda ilk giren ilk çıkar kuralı tercih edilmiştir.

Rushmeier ve ark. (1995), filo atamasında yer alan çözümler hakkında açıklamalar yapmışlar ardından da ekip rotasyonlarının optimize edilmesinde kullanılan kısıtlardan bahsetmişlerdir. Coldstart ve Warmstart adlı filo ataması çözümlerinin farklarını açıklamışlardır. Pas uçuşların ekip atamasında minimize edilmesi konusunda bilgiler paylaşmışlardır. Mevcut optimizasyon

sistemlerinin en büyük eksiği olarak ekip ve filo atamalarının birbiriyle bağlantısını kurarken yetersiz kalması fikrinden bahsedilmiştir.

Ernst ve ark. (2004), özet olarak hazırladıkları çalışmalarında çizelgeleme ve personel atama problemlerinden bahsetmişlerdir. Personel çizelgelerinin optimize edilmesi ile büyük faydalar elde edilebileceği fikrini ortaya atmışlardır. Çalışmada 'belediye ve kamu hizmetleri', 'ticaret' ve 'üretim' gibi farklı alanlar ele alınmıştır ve çözümlerde de metot olarak 'matematiksel programlama', 'kısıt programlama', 'talep modelleme' gibi yaklaşımlar tercih etmişlerdir.

Elhabashy ve ark. (2004), genetik algoritmalar ile Mısır'daki bir havayolu firmasının kokpit ekibi atama probleminin çözümünü için bir metodoloji hazırlamışlardır. Uçağın hareketinden sorumlu olan pilot ve yardımcı pilotlar kabin ekibini oluşturmaktadırlar. Çalışmada kullanılan metodoloji iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama ekip eşleşmelerinin hazırlandığı aşamadır. Bu aşamada kullanılan algoritma enine arama algoritmasıdır. Bir sonraki aşamada ise eşleşmelerin optimize edilmesi amacıyla literatürde yer alan farklı genetik operatörler denenmiş ve sonuçlar arasında kıyaslama yapılmıştır.

Gopalakrishnan & Johnson (2005), Avrupa ve ABD'deki havayolu firmalarındaki uçuş ve kabin ekibi planlamaları arasındaki farkları kıyaslamışlar, havacılık terimleri ve temel havacılık kurallarından bahsetmişlerdir. Doğrusal programlama ve tam sayılı programlama gibi modelleri kıyaslamışlardır. Yapılmış olan modellerin dayanıksızlığından dolayı kısıtlarda yaşanan ufak bir değişimin bütün modelin yapısında bozulmalara sebep olabileceği ve optimal çözümden uzaklaşmaya sebep olacağını fikrini belirtmişlerdir. Ekip üyelerinin uyku kaybı ve uyku düzeninin sürekli değişmesinden dolayı uzun vadede ortaya çıkabilecek yorgunlukların göz önünde bulundurulması gereken bir durum olduğunu söylemişlerdir.

Medard & Sawney (2007), ekip eşleştirme ve atama problemini ilk planlama aşamasından operasyonlar adımına kadar açıklamışlardır. Problemlerin açıklamasını yaparken üç ayrı seviyeye bölmüşlerdir. Birinci seviyede kapsanması gereken uçuşlar, ikinci seviyede ilgili ekip eşleşmelerinin hazırlanması, son seviye ise bu eşleşmelerin optimal biçimde uçuşlara atanması konuları yer almaktadır. Planlama ve atama problemlerinin çözümü dışında ekip kurtarma problemi hakkında bilgi verilmiştir. Ekip kurtarma probleminin sebebi yukarıda belirtilen üç aşamasının herhangi birinde yaşanan aksamalardır. Aksamaların ardından ortaya çıkan illegal eşleşmelerin, hatalı atamaların düzeltilmesi, mevcut ve yeni üretilen tüm uçuşların kapsanması ekip kurtarma probleminin kapsamına girer. Çalışmada ekip kurtarma probleminin çözümü için tam sayılı bir çözüm metodu önerilmiştir.

Zeren (2007) çalışmasında genelde tercih edilen ekip rotasyonu maliyetini minimize eden amaç fonksiyonları yerine ekip rotasyonları sürelerinin toplamını minimize etmeyi amaçlayan bir fonksiyon kullanmıştır. Uçuşlardaki ekip ihtiyaçları için ekip rotasyonlarının atamasını yaparken sütun temelli genetik algoritma ile küme kapsama problemi çözümü yapmıştır. Çalışmasında branch and bound yerine genetik algoritma kullanmasının temel sebebi, genetik algoritmaların daha kesin sonuçlar veremese de çözüm süresi olarak büyük ölçekli problemlerde çok daha hızlı olmasıdır.

Aydemir (2008) ekip eşleme probleminin çözümü için üç farklı yaklaşım önermiştir. Birinci yaklaşımı rastgele üretimli en iyileme algoritmasıdır. Başlangıçta kısıtlara uygun olan aday uçuşların üretilmesi, ardından da bu üretilen uçuşlardan rastgele biçimde seçim yapılması ile çözüm tamamlanmış olur. İkinci yaklaşımda ise genetik algoritmalar ile bir çözüm yapmıştır. Bu metodu kullanırken, ekip eşleme problemi için özel olarak hazırlanmış bir çaprazlama operatörü kullanmıştır. Böylece bütün kısıtları sağlayan ekip eşleşmelerini ortaya çıkararak düzeltilmeye ihtiyaç duymayan çözümler bulunmuştur. Sonucu yaklaşım ise karma sütun üretmedir. Bu

metodolojiyi Çankaya & Arıkan (2009) çalışmasına benzer şekilde küme kapsama ve en kısa yol problemi olarak iki aşamada açıklamıştır. Önerdiği üç yaklaşımı da iki farklı veri setiyle test etmiştir. Maliyet olarak en başarılısı karma sütun üretme yaklaşımı çıkmıştır anca genetik algoritma tabanlı yaklaşımda bulunan değerler ile önerdiği modelin değerleri arasında büyük bir fark yoktur. Genetik algoritma çözüm süresi olarak çok daha hızlı olduğu için bu çalışmasının sonucunda önerilmiştir.

AhmadBeygi ve ark. (2009) çalışmalarında, ekip çizelgeleme problemlerindeki uygun ekip eşleşmelerinin hazırlanması hakkında bir çözüm sunmuşlardır. Bu çalışmayı yaparken tam sayılı programlama yaklaşımını uygulamışlardır. Çalışmada önerilmiş olan bu metot kullanım kolaylığı ve etkin çözümlere kısa sürede ulaşmaktadır.

Çankaya & Arıkan (2009) çalışmalarında dinamik değişkenli bir sütun oluşturma algoritması kullanmışlardır. Çalışmada küme kapsama problemi ve en kısa yol problemi şeklinde iki farklı ana ve alt problemi çözülmüştür. Uygun bir çözüm ortaya çıkarana kadar başlangıç eşleştirmeleri oluşturulmuş, bunu yaparken de ana ve alt problem tekrarlı olarak çözülmüştür. Alt problem amaç fonksiyonu için ana problemin sonucunda ortaya çıkar uçuş seferleriyle ilgili dual değerler kullanılmıştır.

Özdemir (2009) literatürde daha önceden var olan çözüm yöntemleri üzerine bir kıyaslama yapmak ve bu yöntemlerin beraber kullanımı ile hibrit bir algoritma geliştirerek daha başarılı bir çözüm üretme fikrini ortaya atmıştır. Hibrit yöntemleri açıklarken tren ve otobüs gibi ulaşım sektörlerindeki kullanımlarından bahsetmiştir. Sprint ve Carmen hibrit metodu ile çözüm süresi çok düşürebilmeyi başarmış olsa da Carmen yönteminin değişkenleri rassal olarak seçme yönteminde dolayı bu metot bazen optimalden uzak sonuçlar verebilmektedir. Çözümleri optimize edebilmek için Sprint ve Branch on Follow-ons hibrit yaklaşımını denemiştir. Bu metot çözüm süresi olarak daha başarısız olsa da verdiği çözümler daha optimaldir.

Salazar-González (2014) karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile İspanya ve Portekiz’de hizmet vermekte olan bir havayolu firması için ekip eşleştirme, ekip atama, filo atama ve hava aracı problemlerinin çözümünü beraber yapmaya çalışmışlardır. Bu çalışmada tercih edilen havayolu firması uçuş sayısının çok düşük olmasından (150 uçuş / gün) dolayı bu çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Havayolu firması gece uçuş yapmamaktadır bu yüzden de uçak bakımları için gece saatleri kullanılmaktadır. Bu sayede uçak bakımlarının modele bir kısıt olarak entegre edilmesi durumu ortadan kalkmaktadır. Bu ve benzeri durumlar sebebiyle çözüm modeli günlük problemin çözümü biçiminde hazırlanmıştır. Çalışmada yer alan model iki depolu, sürücü değişimli araç rotalama problemine benzemektedir, uçaklar araçlar, kabin ekipleri de sürücüler olarak kabul edilebilir. Çalışmada ayrıca araç rotalama problemindeki yaklaşımların sezgisel biçimde tam sayılı bir model haline getirilmesi ve ekip atamada kullanılmasından bahsedilmektedir.

Aksu & Temiz (2021) havayolu operasyonlarda yer alan düzensiz olaylar ve gecikmelerden bahsetmiş, maliyet azaltmanın ardından en önemli amacın çizelgelerin aksamaması veya belirsizliklerden etkilenmemesi olduğunu açıklamışlardır. Filo tipini ve yurt dışı uçuşları yok sayan bir metot kullanarak sadece yurt içi uçuşları dikkate almışlardır. Gecikmelerin dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı senaryoyu çözmüşlerdir. Gecikmesiz senaryoyu çözerken küme bölüntüleme formülasyonu kullanılmıştır. Gecikmeli senaryoda ise Pearson korelasyonu ile gecikme kavramlarının arasındaki ilişkiyi ölçmek istemişlerdir. Kalkış gecikmeleri ve blok süre aşımına sebep olan ana faktörün varış gecikmeleri olduğu ortaya çıkmıştır. Küme bölüntüleme ile klasik ekip eşleme problemi çözümlenirken çalışan sayısı arttırılırsa gecikmelerin sayısının azalacağı, dayanıklı planlamada ise yayılan gecikme ve maliyet minimizasyonun bir arada ele alınması

gerektiği, gecikme süresinin azaltılmasına ağırlık verilen durumda maliyetlerin arttığı, maliyet minimizasyona ağırlık verilen senaryoda ise gecikmelerin arttığı belirtilmiştir.

3. HAVAYOLU EKİP PLANLAMA PROBLEMİ

Havayolu ekip planlama problemi, havayolu firmalarının planlarında yer alan en karmaşık problemlerdendir. Çalışan maliyetleri yakıt maliyetinin ardından havayolu firmaları için en yüksek maliyeti oluşturmaktadır. Bu problem kontrol edilebilmesinden dolayı havayolu firmaları bu problemi optimal biçimde çözmeye önem vermektedirler. Problemin temel amacı firmada çalışan farklı vasıflara sahip uçuş mürettebatının, havayolu firmasının uçuş programında eksik uçuş bırakmayacak şekilde atanmasıdır. Problem ile havayolu firmasının uçuş maliyeti arasındaki ilişkiden dolayı bu problemin optimal bir şekilde çözülmesine firmalar çok önem vermektedir.

Havayolu ekip planlama problemi çok sayıda alt probleme bölünmektedir. Örneğin uçuş görevleri oluşturulurken, havayolu firması bir kalkış noktasından binlerce farklı varış noktasına uçuş yapabilmektedir. Bu durumda da çok büyük sayıda farklı uçuş görevi oluşabilmektedir.

Problem çözülürken ekip rotasyon ve ekip atama altında iki adımda çözülmektedir. Bu çalışmada uygulanan metodoloji ekip rotasyonu adımı için hazırlanmıştır. Bu adım havayolu firmasının uçuş çizelgesinde yer alan her uçuş en az bir kere kapsanırken, maliyetleri de minimize eden ekip rotasyonları kümesinin bulunması amacıyla çözüm yapılır. Bu aşamanın ardından gelen ekip atamada ise ekip rotasyon kümesinde üretilmiş olan rotasyonlara, rotasyonlardaki ihtiyacı karşılayacak personellerin ataması yapılır.

İki adım çözülürken de Sivil Havacılık Kurumu tarafından paylaşılan talimatnamede yer alan kuralların ve havayolu firmasının uyguladığı kısıtların dışına çıkılmaması gerekmektedir. Kural ve kısıtların uygulanması ile problem yüksek seviyede kısıtlı bir optimizasyon problemine dönüşmektedir.

Ekip rotasyon probleminde yer alan bu kısıtlar zamansal, konumsal ve yönetmelik kaynaklı şeklinde üç bölüme ayrılmaktadır. Zamansal kısıtlamalarda rotasyonda yer alan uçuşlardan birinin kalkış saatinin kendisinden önce gelen uçuşun varış saatinde önce olamaması gibi durumları, konumsal kısıtlar birbiri ardına gerçekleşen iki uçuştan ilkinin varış yeri ile ikinci uçuşun kalkış yerinin aynı nokta olması gerekliliğini ve rotasyonun başlangıç noktası ile bittiği noktasının aynı ikamet merkezi olması kısıtını, yönetmelikten gelen kısıtlar ise molalar, dinlenme süreleri, uçuş görev süreleri gibi kuralları belirler.

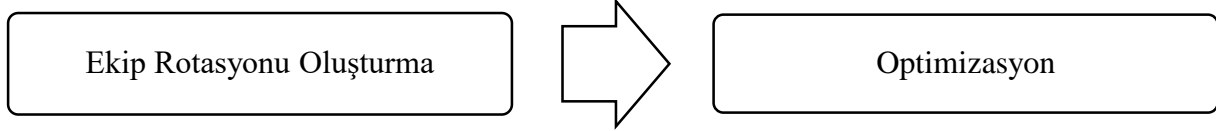
Problem çözümü için hazırlanan amaç fonksiyonu ve amaç fonksiyonunda yer alacak olan maliyetlerin temsil edilmesinde kullanılacak olan değerler de dikkat edilmesi gereken ayrı bir konudur. Literatürde yer alan çalışmalarda görülebileceği gibi, genelde amaç fonksiyonunda toplam parasal maliyet kullanılmaktadır (Rubin, 1973; Graves ve ark., 1993). Bu maliyet hesabı yapılırken öncelikle ekip rotasyonlarının maliyeti, görevi yapacak olan ekibin ilgili rotasyonu gerçekleştirirken alacağı ücret ve konaklama masrafları gibi değer toplanır.

Amaç fonksiyonunda toplam maliyetin minimizasyonu amaçlanmaktadır. Ekip rotasyonlarının maliyeti bu fonksiyonda maliyet girdisi olarak alınmıştır. Çözümün maliyeti, çözüm kümesinde yer alan ekip rotasyonlarının maliyetlerinin toplamı ile pas uçuşların sebep olduğu ceza maliyetlerinin toplanmasıyla bulunur.

Uçuş ekibinin uçakta mürettebat olarak değil de yolcu olarak seyahat ettiği duruma pas uçuş denir. Bu durum aynı uçuşu kapsayan birden fazla ekip anlamını da taşımaktadır. Uçuş ekibinin bir uçuş

görevini yapmak için ilgili uçuşun başlangıç noktasına gitmesi durumunda pas uçuş ortaya çıkmaktadır.

Ekip rotasyonu problemi, ekip rotasyonu oluşturma ve optimizasyon şeklinde iki adımda çözülmektedir (Bkz. Şekil 1). Ekip rotasyonu oluşturma kısmında, uçuş tarifesindeki veriler ile uygun ekip rotasyonları üretilir ve amaç fonksiyonu uygulanırken kullanılacak olan değerleri hesaplanır. Optimizasyon kısmında ise, her uçuşu en az bir kere kapsarken amaç fonksiyonunu da minimize edecek ekip rotasyonları kümesi bulunur.



Şekil 1. Ekip Rotasyonu Optimizasyon Probleminin Çözümü

Birinci adımda kısıtlar ve amaç fonksiyonunda kullanılacak hesaplamaların yapılması ile yüksek sayıda ekip rotasyonu üretilir. Optimizasyon kısmı da bir küme kapsama problemi şeklinde modellenir ve çözülür.

4. METODOLOJİ

Ekip rotasyonları oluşturulurken havayolu firmasının uçuş tarifesindeki uçuşların kümesi olan U , girdi olarak kullanılır. Kısıtlamalar $D:2^U \rightarrow \{0,1\}$ formülü ile belirlenmiştir. Bu kısımda r , $D(r) = 1$ geçerli, $D(r) = 0$ ise geçerli olmayan bir ekip rotasyonunu temsil etmektedir. Bu aşamada amaç, sistemin bütün kısıtlamalarına uygun olan $R = \{r \in 2^U \mid D(r) = 1\}$ ekip rotasyon kümesinin ortaya çıkarılmasıdır.

Ekip rotasyonu oluşturma iki adımda yapılmaktadır. Birinci adımda uçuş tarifesinde yer alan uçuşların kullanılması ile uçuş görevleri üretilir, ikinci adımda ise üretilmiş olan uçuş görevlerinden ekip rotasyonları üretilir. Tarifedeki uçuş kümesi, uçuş görevlerinin üretilmesi için girdi olarak kullanılır. Kısıtları sağlayan kaliteli uçuş görevleri bir sonraki adımın girdisi olması amacıyla saklanır.

4.1. Uçuş Görevi Oluşturma

Uçuş görevleri depth first search algoritması ile oluşturulmuştur. Uçuş tarifesindeki uçuşlar için uygun olan uçuş görevleri hesaplanır, devamında ise üretilmiş olan uçuş görevlerinin arkasına eklenmesi uygun olan uçuşların varlığı kontrol edilir. Bu aşamada kısıtlar kontrol edilir ve aramanın derinleştirilebilme durumu incelenir. Kısıtların dışına çıkmayan uçuş görevleri kaydedilir. Birinci uçuştan itibaren tüm uygun olan tüm uçuş görevi kombinasyonları incelenmiş olur. İşlemler her uçuş için tekrarlanır.

Bu işlemlerin sona ermesinin ardından yüksek miktarda uçuş görevi oluşturulur. Bu görevlerin tamamının kullanılması çözümün ilerleyen aşamaları için performans problemine neden olduğundan, görevler belli bir kalite oranına göre ayıklanır ve kalitesi düşük olanlar atılır.

Kalite oranı = Havada kalma süresi / (Uçuş görev süresi + dinlenme süresi)

4.2. Ekip Rotasyonu Oluşturma

Ekip rotasyonu oluşturma kısmında da depth first search algoritması kullanılmıştır. Önceki adımda üretilen uçuş görevleri burada girdi olarak kullanılmıştır. Bu aşamanın amacı elde var olan uçuş görevi kümesiyle ekip rotasyon kümesini oluşturmaktır.

Çalışmada ekip rotasyonlarının ikamet merkezinin bir tane olacağı varsayılmıştır. Bu durumdan dolayı görevlerin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiş olan ikamet merkezi olmalıdır. Bu aşamada zamansal, konumsal ve yönetmelikten gelen kısıtların kontrolleri de yapılır, uygun olmayan ekip rotasyonları kayıt altına alınmaz, uygun olanlar saklanır.

Uçuş görevi oluşturma aşamasının sonunda olduğu gibi bu aşamanın sonunda da ortaya çıkabilecek performans problemlerini azaltmak adına bir kalite oranı kullanılır. Düşük orana sahip olan rotasyonlar elenir.

Kalite oranı = Havada kalma süresi / (Toplam ekip rotasyonu süresi + dinlenme süresi)

4.3. Küme Kapsama Problemi

Küme kapsama problemi bir kombinatoriyal optimizasyon problemi olarak bilinmektedir. Küme kapsama probleminde amaç q satır ve w sütun ile 0 ve 1'lerden oluşan bir matrisin (a_{ij}) bütün satırlarının minimum maliyet ile kapsanmasıdır (Holland & Holland, J. H., 1975). Örneğin bir z vektörü için, $z_j = 1$ ise j sütunu $c_j > 0$ maliyeti ile çözüm kümesinin içinde, $z_j = 0$ ise çözüm kümesinin dışında olduğu varsayılırsa problemin formülasyonu aşağıdaki gibidir. ($j=1,2,3,\dots,n$).

$$\text{Min} \sum_{j=1}^w c_j z_j$$

$$\sum_{j=1}^w a_{ij} z_j \geq 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, q$$

$$z_j \in \{0,1\}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, w$$

Bu kısımda amaç fonksiyonu evrensel kümedeki tüm elemanları kapsarken, maliyeti minimize edecek şekilde en düşük sayıda alt küme kullanmaktır. Bir sonraki satırdaki kısıt ise, U evrensel kümesinde yer alan her j elemanının kapsanması gerektiğini gösterir. İkinci kısıt ise karar değişkenlerinin ikili (binary) olduğunu, herhangi bir kümenin kapsandığını veya kapsanmadığını ifade etmektedir.

4.4. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, Darwin'in "en iyi olan yaşar" prensibi ile çalışan, biyolojik sistemleri simüle eden, arama tarama algoritmalarıdır. Bu alandaki ilk çalışma (Holland & Holland, J. H., 1975) çalışmasıdır.

Genetik algoritmalar, sezgisel bir metoddur bu yüzden problem için en iyi çözümü bulma garantisi verilemez. Genetik algoritmalar mevcut metotların yetersiz kaldığı durumlarda veya çözüm süresinin problem büyüklüğüyle beraber üstel olarak arttığı problemlerin çözümün en iyiye çok yaklaşan sonuçlar verebilmektedir (Beasley & Chu, 1996).

Genetik algoritmalar, doğadaki biyolojik yaşam formlarının geçirdikleri evrimsel süreçlerin örnek alınmasıyla geliştirilmiştir. Evrimsel süreçte ilerlemeler oldukça, popülasyon da doğal seçim ile evrim geçirmektedir. Popülasyondaki bireylerden çevrelerine daha iyi adapte olmuş olanların hayatta kalma ve çoğalma ihtimali, kendilerine göre güçsüz ve zayıf olan bireylerden daha fazladır. Güçsüz ve zayıf olan bireyler elenirken sağlıklı olanlar hayatta kalmaya devam ederler. Bu süreç kendini tekrar ederken, sağlıklı olan bireyler genlerini alt nesillere aktarmaya devam ederler. Sağlıklı bireylerin beraber oluşturdukları gen kombinasyonlarının sonucunda kendilerinden de daha kaliteli yeni bireyler oluşabilmektedir. Böylece popülasyonda daha sağlıklı bireylerin oluştuğu görülmektedir.

Genetik algoritmalarda süreç en başta rastgele olarak ilk neslin üretilmesi ile başlar. Bu neslin devamında gelen tüm nesillerde genetik operatörlerin kullanılması ile evrimsel optimizasyonu simüle eder. Popülasyondaki bireylerin her biri, problemin mümkün olan çözümlerinden biridir, bu bireyler probleme özel olarak kodlanırlar ve kromozomlar ile temsil edilirler. Kromozomların çözüm kalitelerinin (fitness) hesabında amaç fonksiyonu kullanılır. Kaliteli bireyler fitness değerleri yüksek olanlardır. Bu bireyler, kendileri gibi yüksek fitness değerine sahip bireyler ile çaprazlama operatörü yardımıyla üreyerek kendi genlerindeki bilgileri yeni nesile aktarırlar. Bu metot ile ebeveynlerdeki genler farklı kombinasyonlar ile çocuk nesillere aktarılır ve yeni çözümler elde edilir. Lokal minimum ve maksimum değerlerine yakalanmanın önüne geçmek için bütün nesillerde, kromozomda yer alan genlerden bazılarının değiştirilmesi adına belirli bir oranda mutasyon operatörü uygulanır. Sonuçta yeni neslin eski ile tamamen yer değiştirmesi veya eski nesildeki kalitesiz bireyler ile yeni nesildeki kaliteli bireylerin yer değiştirmesi gibi iki durum yaşanır. Tatmin edici bir sonuç bulunana kadar döngü devam ettirilir.

4.4.1. Sütun temelli gösterim

Bu çalışmada genetik algoritmanın sütun temelli gösterimi kullanılmıştır. Sütun temelli gösterim biçim olarak sadedir. Ekip rotasyonu sayısını r olarak kabul ettiğimizde, kromozomlar 0 ve 1 değerlerine sahip olabilen r uzunluğunda bir dizidir. Kromozomdaki 1 değerine sahip olan indekslerdeki genler çözüm kümesinde yer alırken, 0 olan genler çözümde yer almamaktadır.

r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}
0	1	1	0	1	0	0	1	1	0

Şekil 2. Genetik Algoritmalarda Sütun Gösterimi

Üstte örneği verilmiş olan bir kromozomun uygunluk (fitness) değeri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^{10} c_i r_i$$

Bu gösterimde başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur. Ancak başlangıç popülasyonu üretilirken ve algoritmanın ileriki adımlarında kullanılacak olan operatörlerin sonucunda çıkan yeni kromozomların da çözüme uygun olması garanti edilemez. Algoritma çalıştığı sürece, arkada yer alan operatörler genler üzerinde değişiklik yaptıklarından tüm uçuşların kapsanması kısıtını sağlamayan kromozomlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek için, algoritmaya bir takım düzeltme mekanizmalarının eklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılabilecek en basit yol, uygun olmayan bütün kromozomların çözüm kümesinin dışına çıkarılmasıdır ancak bu tarz bir yöntemin ardından elimizdeki çözümlerin hiçbirinin uygun olmaması riski ortaya çıkar. Uygun olmayan kromozomlara uygunluk fonksiyonlarında yüksek ceza değerleri eklenmesi

kullanılabilecek bir diğer mekanizmadır. Bir diğer metot ise uygun olmayan kromozomların belirli birtakım kurallar ile onarım işlemine alınmasıyla uygun hale getirilmeleridir. Beasley & Chu (1996) çalışmalarında sütun temelli gösterim için bir onarma metodu kullanarak, uygun olmayan kromozomların uygun hale gelmesi için bir uygunluk operatörü uygulamışlardır.

4.4.2. Başlangıç popülasyonu

Genetik algoritma iterasyonuna ilk girecek olan çözüm kümesi başlangıç popülasyonudur. Genetik algoritma sürecinin ilk aşaması başlangıç popülasyonunun üretilmesidir. Başlangıç popülasyonu üretilirken hiçbir uçuşu açıkta bırakmayacak bir metot kullanılmıştır.

F = Tüm uçuşların (sıra) kümesi

P = Tüm ekip rotasyonlarının (sütun) kümesi

α_f = p uçuşunu kapsayan ekip rotasyonlarının kümesi, $f \in F$

β_p = t ekip rotasyonunun kapsadığı uçuşların kümesi, $p \in P$

S = Bir çözüm kümesini oluşturan ekip rotasyonları kümesi, $S \subset P$

w_f = f uçuşunu kapsayan ve S içinde olan ekip rotasyonlarının sayısı, $f \in F$

Yukarıda belirtilen indisler aşağıda verilen algoritma ile işleme alınarak ilk popülasyonu oluşturmuştur.

1. İlk değerleri $S = 0$ ve $w_f = 0$ olarak ayarla.
2. F kümesi içindeki her f için:
 - a. Eğer $w_f > 0$ ise bir sonraki uçuş için 2. adıma git.
 - b. α_f kümesi içinden rastgele bir p ekip rotasyonu seç.
 - c. p ekip rotasyonunu S ye ekle.
 - d. $w_f = w_f + 1$, $\forall f \in \beta_p$

Bu çalışmada $k = 5$ olarak kabul edilmiştir. k . elemandan sonraki ekip rotasyonlarının taranması ise genetik algoritmada yer alan mutasyon, onarma ve iyileştirme operatörleri ile gerçekleştirilmektedir.

Popülasyondaki kromozom sayısının belirlenmesinde $20 * \text{Ekip Merkezi Sayısı}$ formülü kullanılmıştır. Kromozom sayısı artırılarak iterasyon sayısı azaltılabilir, ancak bu durum işlem yükünde artışa sebep olacağından toplam çözüm süresinin iyileşmesi için bir fayda sağlamamaktadır. Kromozomlar yukarıda verilen adımlar ile üretildikten sonra genetik algoritma çözüme hazır hale gelmektedir.

4.4.3. Seleksiyon operatörü

Genetik algoritmaların ilk işlemi her zaman seleksiyondur. Seleksiyondaki amaç, kendisinden sonraki aşama olan çaprazlama operasyonunda yer alacak olan kromozomlara karar verilmesidir. Çaprazlama operasyonunda genetik bilgiler bir sonraki nesile aktarılır. Bu sebepten dolayı çaprazlamada kullanılacak olan kromozomların seçimi işlemi de algoritmanın yakınına hızını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada seleksiyon yapılırken ikili turnuva seçimi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem turnuva seçimi yönteminin iki elemanlı kümelerle yapılması ile uygulanır. Yöntem ekstra bir hesaplama gerektirmemesi nedeniyle hızlı bir şekilde çalışmaktadır.

1. Popülasyondan rastgele iki kromozom seçilir.
2. Bu iki kromozom arasından uygunluk (fitness) değeri iyi olan seçilir.
3. Popülasyondan tekrar rastgele iki kromozom seçilir.
4. Yine iki kromozomdan uygunluk (fitness) değeri iyi olan seçilir.

2. ve 4. aşamada seçilen kromozomlar bir sonraki aşamadaki çaprazlama operasyonunda kullanılırlar.

4.4.4. Çaprazlama operatörü

Mevcut genetik bilginin sonraki nesillere aktarılarak çocuk kromozomların üretildiği aşama çaprazlamadır. Seleksiyon işleminin sonuçlanmasıyla beraber bulunan, uygunluk değeri yüksek iki kromozoma çaprazlama operatörü uygulanmasıyla bir veya iki yeni çocuk kromozom üretilir. Çaprazlama işleminde yer alacak kromozomlar $K_1[i]$ ve $K_2[i]$, uygunluk değerleri u_{K_1} ve u_{K_2} , popülasyondaki en kötü uygunluk değeri u_{ek} ve çocuk kromozom $C[i]$ olmak üzere;

1. $i = 1$
2. Eğer $K_1[i] == K_2[i]$ ise $C[i] = K_1[i] = K_2[i]$
3. Eğer $K_1[i] \neq K_2[i]$ ise
 - 3.1. $= (u_{K_1} - u_{ek}) / (u_{K_1} - u_{ek} + u_{K_2} - u_{ek})$ olasılığı ile $C[i] = K_1[i]$
 - 3.2. $1 - o$ olasılığı ile $C[i] = K_2[i]$
4. Eğer $i < p$ ise $i = i + 1$ ve 2. adıma dön.

İki kromozomun çaprazlama olasılıklarını dengelemesi için u_{ek} değeri kullanılmaktadır. Bu sayede algoritmanın ilerleyen aşamalarında uygunluk değerleri birbirine yaklaşırsa dahi, çaprazlama oranlarının birbirine çok yakın olmasının önüne geçilmektedir. Örnek olarak $u_{K_1} = 12$, $u_{K_2} = 11$, $u_{ek} = 10$ olursa $o_1 = 2 / 3$, $o_2 = 1 / 3$ değerleri bulunmaktadır.

4.4.6. Mutasyon operatörü

Mutasyon operatörü küçük bir arama mekanizması ile çocuk kromozomlarda uygulanır. Kullanım amacı algoritmanın lokal minimum ve maksimum değerlerde takılı kalmasını önlemektir. Beasley & Chu (1996) çalışmalarında, sabit sayıda gen üzerinde değişiklik yapmak yerine algoritma ilerledikçe artan mutasyon oranı kullanımının verdiği sonuçların daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir.

Kromozomda mutasyon uğratılacak gen sayısının (n_m) hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$n_m = \left[\frac{m_f}{1 + \exp(-4m_g(t - m_c)/m_f)} \right]$$

m_f : Değişken mutasyon oranının alacağı maksimum değer.

m_c : Değişken mutasyon oranının değerinin yarısına ulaştığı andaki iterasyon adımı.

t : İterasyon adımı (Baştan itibaren oluşturulan çocuk kromozom sayısı).

m_g : Fonksiyonun $t = m_c$ deki eğimi.

Bu çalışmada, (Zeren, 2007) çalışması ile karşılaştırma yapılırken anlamlı sonuçlar bulunması adına, $m_f = \text{Kromozom Uzunluğu} / 90$, $m_c = 400$, $m_g = 0.4$ kabul edilmiştir.

Bir gen mutasyona uğratılmak istendiğinde o_m olasılığı ile mutasyona uğratılmaktadır. o_m hesaplanırken (Kornilakis & Stamatopoulos, 2002) popülasyonun en sağlıklı bireyinin, 1 değerine sahip genlerinin sayısının kromozomun uzunluğuna bölünmesi oranı kullanılmaktadır. K mutasyon uğrayacak kromozom, n kromozomdaki gen sayısı olmak üzere mutasyon operatörü aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

1. $i = 1$
2. 1'den n'ye kadar rastgele bir x tam sayısı seç.
3. Eğer $x > n_m$ ise $i = i + 1$ ve 2. adıma dön.
4. 0 ile 1 arasında rastgele bir y reel sayısı seç.
5. Eğer $K[i] = 0$ ve $y \leq o_m$ ise $K[i] = 1$
6. Eğer $K[i] = 1$ ve $y > o_m$ ise $K[i] = 0$
7. $i = i + 1$ ve 2. adıma dön.

4.4.7. Sezgisel uygunluk operatörü

Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasının ardından üretilen çocuk kromozomun uygun olması garanti edilemediğinden bu tür kromozomların onarılması tercih edilmektedir. Uygun olmayan bir kromozomun onarılması için kapsanmamış uçuşlar ve bu uçuşların kapsanmasını sağlayabilecek ekip rotasyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Sezgisel uygunluk operatörü aşağıda gösterildiği gibi çalışmaktadır.

F = Tüm uçuşların (satırların) kümesi

P = Tüm ekip rotasyonlarının (kolonların) kümesi

α_f = f uçuşunu kapsayan ekip rotasyonlarının kümesi, $f \in F$

β_p = p ekip rotasyonunun kapsadığı uçuşların kümesi, $p \in P$

S = Bir çözüm kümesini oluşturan ekip rotasyonları kümesi, $S \subset P$

U = Kapsanmamış uçuşların kümesi, $U \subset F$

w_f = f uçuşunu kapsayan ekip rotasyonlarının sayısı, $f \in F$

- 1) w_f için ilk değerleri $w_f = |S \cap \alpha_f|$, $\forall f \in F$ olarak ayarla.
- 2) U için ilk değerleri $U = \{f \mid w_f = 0, \forall f \in F\}$ olarak ayarla.
- 3) U kümesi içindeki her f için:
 - a) $c_p / |U \cap \beta_p|$ oranını minimize eden ilk $p \in \alpha_f$ ekip rotasyonunu bul.
 - b) $S = S + p$; $w_f = w_f + 1$, $p \forall f \in \beta_p$; $U = U - \beta_p$
 - c) $w_f = w_f + 1$, $\forall f \in \beta_p$

İlk iki adımda kapsanmayan uçuşlar belirlenir. Üçüncü adımda kromozom uygun hale getirilir.

4.4.8. Kromozom iyileştirme operatörü

Referans alınan diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada yeni bir kromozom iyileştirme operatörü geliştirilmiştir. Bu operatörün uygulanma amacı kromozomda yer alan aşırı kapsamanın önüne geçmektir. Operatör aynı uçuşu kapsayan birden fazla rotasyon içinden en kaliteli olanı saklar, geri kalan tüm rotasyonları çözüm kümesi dışına çıkarır. Kullanılan kalite oranı aşağıda belirtilmiştir.

Havada kalma süresi / (Toplam ekip rotasyonu süresi + Dinlenme süresi)

Bu çalışmada örnek alınan diğer çalışmaların aksine çözümden çıkarılan rotasyonların yerine yenileri eklenmez. Tüm uçuşlar kapsanana kadar Sezgisel Uygunluk Operatörü ve Kromozom İyileştirme Operatörü birbiri ardına uygulanır. Algoritmanın akışı aşağıda belirtilmiştir.

F = Tüm uçuşların (satırların) kümesi

α_f = f uçuşunu kapsayan ekip rotasyonlarının kümesi, $f \in F$

Q_{af} = f uçuşunu kapsayan rotasyonlarının kalitesinin kümesi, $a \in \alpha$

1. Çözüm kümesindeki uçuşları (F) sırayla kontrol et.
2. f uçuşunu kapsayan rotasyonların kümesini bul.
3. Bu kümede yer alan rotasyonların kalite değerlerini (Q_{af}) bul.
4. Kalite değeri en yüksek olan rotasyonu ($\text{MAX}\{Q_{af}\}$) belirle.
5. Kalite değeri en yüksek olan rotasyonun değerini 1 olarak bırak.
6. Geri kalan tüm rotasyonların değerini 0 yaparak çözüm kümesinden çıkar.

4.4.9. Uygunluk fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu (fitness function) kullanılarak kromozomun uygun bir çözüm kümesi olma durumu kontrol edilir. Bu çalışmada uygunluk fonksiyonu maliyet temel alınarak tasarlanmıştır.

c_{pi} : i. ekip rotasyonunun maliyet değeri

g_i : 1 ise i. ekip rotasyonunun çözüm kümesi içinde 0 ise dışındadır.

c_{fj} : j. uçuşun maliyet değeridir.

d_{fj} : j. uçuşun pas sayısıdır.

c_k : k. ikamet merkezine ait ekip rotasyonlarının toplam maliyeti.

c_t : Ekip rotasyonlarının toplam maliyeti.

e_k : k. ikamet merkezinde ikamet eden ekip sayısı

p_d : Pas ceza katsayısı

$$\sum_i c_{pi} g_i + \sum_j c_{fj} \cdot d_{fj} \cdot p_d + \sum_i c_k \cdot |(c_k/c_t) - (e_k/e_t)|$$

Denklemdaki ilk kısım, çözüm kümesinde yer alan ekip rotasyonlarının toplam maliyetidir. İkinci kısım pas uçuşların ortaya çıkardığı maliyeti, üçüncü kısım ekiplerin ikamet merkezlerine göre dağılımındaki sapmadır.

4.4.10. Popülasyon yenileme

Popülasyon yenileme aşaması genetik algoritma iterasyonunun son adımıdır. Bu kısımda üretilmiş olan yeni çocuk kromozomların kullanım biçimi belirlenmektedir. Bu çalışmada tercih edilen yaklaşım elitist bir yaklaşımdır ve aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

1. Ebeveyn popülasyon ile çocuk popülasyon bir araya getirilir.
2. Kromozomlar uygunluk değerlerine göre dizilir.
3. En iyi ilk 20 birey bir sonraki tur için saklanır geri kalanlar ise atılır.

Bu yaklaşımın dışında, bütün çocuk ve ebeveynlerin yer değiştirdiği nesilsel yaklaşım ve her çocuk kromozomun uygunluk değerlerine göre rassal olarak seçilmiş olan bir ebeveyn ile yer değiştirdiği steady-state yaklaşımı da denenmiştir. Bu denemelerin ardından elitist yaklaşım en iyi sonucu vermiştir.

5. UYGULAMA VE BULGULAR

Bu çalışmada sezgisel metotlardan genetik algoritmalar kullanılarak, yerel bir havayolu şirketinin uçuş tarifesindeki uçuşlara ekip rotasyonu ataması yapılmıştır. Uygulamada kullanılan algoritma metodoloji bölümü altında anlatılan genetik algoritma yöntemidir. Uygulamada tek uçuş merkezi kullanılmıştır. Aşağıda sunulan sonuçlar, 714 uçuşa sahip 310 filosu için hazırlanmış ve AMD Ryzen 5 3600 3.6GHz işlemcili bir makinede JetBrains PyCharm platformunda çalıştırılmıştır.

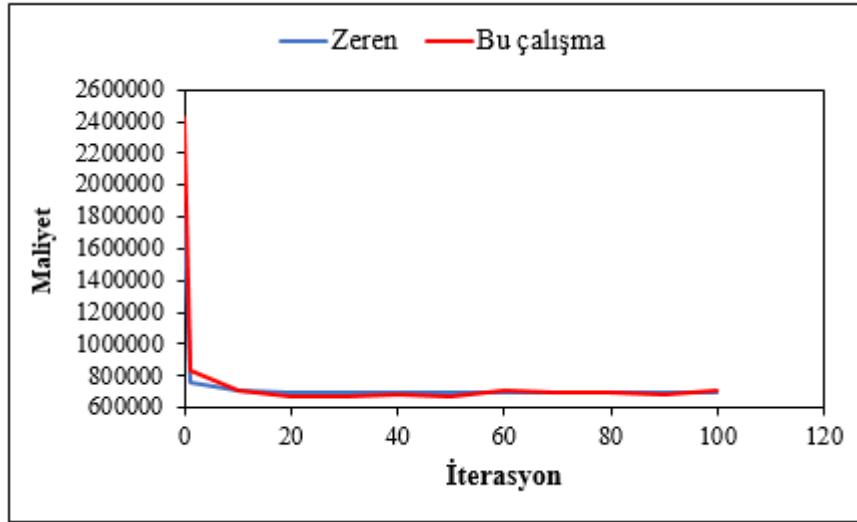
Çalışma tek merkezli olarak yapılırken, tüm ekip elemanlarının İstanbul'da ikamet ettiği varsayılmıştır. İstanbul merkezli olarak üretilen ekip rotasyonu sayısı 3646'dır. Tek bir merkez kullanıldığından merkez arası dağılım olmamaktadır bu sebepten dolayı ekip dağılım maliyeti sıfır olmaktadır.

Uygulama yapılırken seleksiyon operatörü olarak ikili turnuva seçimi yöntemi kullanılarak kromozomlar seçilmiştir. Çaprazlama operatörünün çaprazlama olasılığı dengelenerek çaprazlama oranlarının birbirine aşırı yakın olması önlenmek istenmiştir. Mutasyon operatöründe ise algoritma ilerledikçe mutasyon oranını arttıran bir yaklaşım kullanılmıştır. Sezgisel uygunluk operatörünün kullanımıyla kromozomlar onararak çözüme uygun hale getirilmiştir. Kromozom iyileştirme operatörü kullanılarak mevcut kromozomların kalitesi artırılmış ve maliyetin azaltılması sağlanmıştır.

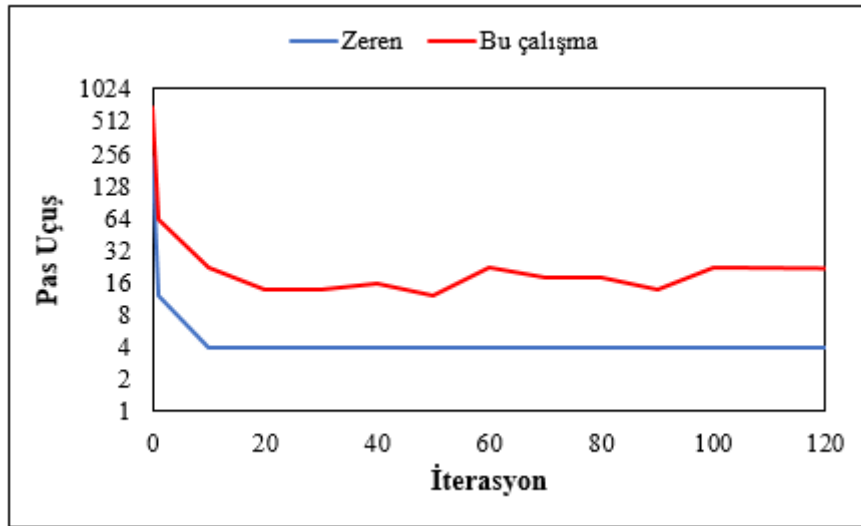
Zeren (2007) çalışmasına kıyaslandığında bu çalışmaya özel olarak geliştirilen kromozom iyileştirme operatörü sayesinde daha az iterasyonla daha düşük maliyete ulaşılmıştır. Çalışmanın amacı maliyetleri azaltmak olduğundan, referans alınan çalışmaya kıyasla daha fazla pas uçuş çıktığı halde daha düşük maliyetlerin elde edilmesi sağlanmıştır. Çözüm süreleri bakımından örnek alınan çalışma artan iterasyon sayılarında daha başarılı olsa da maliyet bakımından yeni geliştirilen algoritma daha başarılı olmuştur.

Genetik algoritmanın sezgisel yapısı ve mutasyon operatöründen dolayı bazı iterasyonlarda çıkan yanıtlar daha az iterasyonda ortaya çıkan sonuçlardan daha başarısız olsa da sonuçlar genel olarak tutarlıdır.

Referans alınan çalışma ile tarafımızca bu çalışma için geliştirilmiş olan genetik algoritmanın, tek merkezli çözümde, ilk 100 iterasyon için maliyet ve pas uçuş sayısındaki değişimler grafiksel olarak aşağıda paylaşılmıştır.



Şekil 3. Tek merkezli çözüm için maliyet değişimi



Şekil 4. Tek merkezli çözüm için pas uçuş sayıları

Tek merkezli çözümün farklı iterasyonlarındaki değerler aşağıdaki gibidir.

Tablo 1. Farklı iterasyon sayıları için elde edilen sonuçlar

İterasyon	Zeren					Bu çalışma için geliştirilmiş GA				
	Ekip Rotasyon Sayısı	Uçuş Sayısı	Pas Sayısı	Maliyet	Süre (sn)	Ekip Rotasyon Sayısı	Uçuş Sayısı	Pas Sayısı	Maliyet	Süre (sn)
0	210	944	234	1824645	0	355	1384	706	2426555	0
1	333	722	12	758335	0	328	772	62	832715	3
10	335	714	4	707315	0	326	732	22	705335	22
20	333	714	4	702690	0	318	724	14	673525	39
30	333	714	4	702690	0	322	724	14	675295	44
40	333	714	4	702690	0	330	726	16	688670	67
50	332	714	4	702285	1	312	722	12	673845	58
60	331	714	4	701880	1	327	732	22	703195	59
70	331	714	4	701880	1	328	728	18	691170	77
80	335	714	4	697125	1	313	728	18	694300	103
90	332	714	4	695790	1	317	724	14	685700	90
100	331	714	4	695385	1	325	732	22	705500	111
200	329	714	4	694510	3	323	730	20	690370	180
300	320	714	4	690525	5	326	736	26	718520	315
400	316	714	4	688305	7	328	728	18	680200	367
500	311	714	4	685730	9	328	726	16	684070	448
800	302	714	4	682555	14	321	722	12	672300	730
1000	299	714	4	681525	18	318	718	8	658005	752

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada havayolu ekip planlama sürecinin başlangıç adımı ve maliyetlerinin de büyük ölçüde belirlendiği bölüm olan ekip rotasyonu optimizasyonu hakkında literatürde mevcut olan çalışmalar incelenmiş ve tek merkezli çözümde genetik algoritmanın daha başarılı çalışması üzerine geliştirmeler uygulanmıştır. Sonuçlarda da görülebildiği üzere, geliştirilen yeni kromozom iyileştirme operatörü sayesinde algoritma daha düşük maliyetli çözümler vermiştir.

Süreç en başta şirketin uçuş tarifesi incelenerek, uygun uçuş görevlerinin üretilmesi ile başlamıştır. Bir sonraki aşama ise ekip rotasyonu oluşturma aşamasıdır. Bu aşamada bir önceki aşamada hazırlanmış olan uçuş görevlerine uygulanacak, kurallara uygun olan ekip rotasyonları üretilmiştir. Sonrasında ise optimizasyon aşamasına geçilmiş ve problem bir küme kapsama problemi olarak tasarlanmıştır. Devamında ise bu problem için bir genetik algoritma hazırlanmış ve operatörleri sırayla uygulanarak çözümler elde edilmiştir.

Ekip atama aşaması, havayolu ekip planlama sürecinin ikinci adımıdır. Yapılan bu çalışma, ekip atama aşaması için bir ön hazırlık anlamı taşımaktadır. Bunun sebebi olarak da ekip rotasyon aşamasında üretilmiş ekip rotasyon kümelerinin kalitesinin ekip atama aşamasının başarısıyla doğrudan ilişkili olması söylenebilir.

Algoritmanın ilerleyen iterasyonlarda yaşadığı çözüm süresi yavaşlığının giderilmesi, mutasyon operatörünün sebep olduğu şans faktöründen dolayı ortaya çıkan daha başarısız kromozomların düzeltilmesi, bu bozukluğa sebep olduğu öngörülen mutasyon operatörü ve kromozom iyileştirme operatörlerinin çalışma mantığı üzerindeki iyileştirmeler bir sonraki çalışmalarda üzerinde durulabilecek konulardır. Ayrıca problemin tek merkezli yerine çok merkezli şekilde çözümünün yapılması da gelecekte yapılabilecek olan çalışmalardan biridir.

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

- AhmadBeygi, S., Cohn, A., & Weir, M. (2009). An integer programming approach to generating airline crew pairings. *Computers & Operations Research*, 36(4), 1284-1298.
- Aksu, E. Ö., & Temiz, İ. (2021). Havayolu operasyonlarında dayanıklı ekip eşleme için eniyileme yaklaşımı: bir havayolu şirketi uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 24(2), 417-429.
- Anbil, R., Tanga, R., & Johnson, E. L. (1992). A global approach to crew-pairing optimization. *IBM Systems Journal*, 31(1), 71-78.
- Arabeyre, J. P., Fearnley, J., Steiger, F. C., & Teather, W. (1969). The airline crew scheduling problem: A survey. *Transportation Science*, 3(2), 140-163.
- Aydemir, A. A. (2008). *Havayolu ekip eşleme problemi: Genetik ve karma algoritmalar* [Yüksek lisans tezi]. Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Beasley, J. E., & Chu, P. C. (1996). A genetic algorithm for the set covering problem. *European journal of operational research*, 94(2), 392-404.
- Çankaya, G., & Arıkan, M. (2009). Sütun oluşturma yaklaşımı ile bir havayolu ekip çizelgeleme uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 24(1).

- Elhabashy, A. E., Elwany, M. H., Fors, M. N., & Abouelseoud, Y. (2014, Ekim, 14-16). Solving the airline crew pairing problem using genetic algorithms. *CIE44 & IMSS'14 Proceedings. Istanbul*. 2167-2181
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1), 3-27.
- Etschmaier, M. M., & Mathaisel, D. F. (1985). Airline scheduling: An overview. *Transportation Science*, 19(2), 127-138.
- Graves, G. W., McBride, R. D., Gershkoff, I., Anderson, D., & Mahidhara, D. (1993). Flight crew scheduling. *Management science*, 39(6), 736-745.
- Gopalakrishnan, B., & Johnson, E. (2005). Airline crew scheduling: State-of-the-art. *Annals of Operations Research*, 140(1), 305-337.
- Holland, J. H., & Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. *University of Michigan press. USA*.
- Kornilakis, H., & Stamatopoulos, P. (2002). Crew pairing optimization with genetic algorithms. In Hellenic conference on artificial intelligence (pp. 109-120). *Springer, Berlin, Heidelberg*.
- Medard, C. P., & Sawhney, N. (2007). Airline crew scheduling from planning to operations. *European Journal of Operational Research*, 183(3), 1013-1027.
- Özdemir, U. (2009). Methodology for crew-pairing problem in airline crew scheduling. [Yüksek lisans tezi]. *Boğaziçi Üniversitesi. İstanbul*.
- Rubin, J. (1973). A technique for the solution of massive set covering problems, with application to airline crew scheduling. *Transportation Science*, 7(1), 34-48.
- Rushmeier, R. A., Hoffman, K. L., & Padberg, M. (1995). Recent advances in exact optimization of airline scheduling problems. *Dept. of Operations Research and Operations Engineering, George Mason University, Working Paper*.
- Salazar-González, J. J. (2014). Approaches to solve the fleet-assignment, aircraft-routing, crew-pairing and crew-rostering problems of a regional carrier. *Omega*, 43, 71-82.
- Teodorović, D., & Stojković, G. (1990). Model for operational daily airline scheduling. *Transportation Planning and Technology*, 14(4), 273-285.
- Zeren, B. (2007). *Genetik Algoritmalar ile Havayolu Ekip Planlamada Ekip Rotasyon Optimizasyonu* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.



Araştırma Makalesi / Research Article

**BOX-JENKINS YÖNTEMİYLE ÇİLEK SATIŞ FİYATLARI İÇİN
TAHMİN MODELİ KURULMASI VE TAHMİN SONUÇLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ***

**ESTABLISHING A FORECAST MODEL FOR STRAWBERRY SALES PRICES BY BOX-
JENKINS METHOD AND EVALUATION OF THE FORECAST RESULTS**

Begüm AKAN¹

Emin Başar BAYLAN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1092970>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
begum.akan@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
24.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
01.09.2022

Öz

Taze tüketiminin yanı sıra gıda endüstrisinde birçok alanda hammadde olarak başrol oynayan çilek, geleneksel üretimin dışında, sera ve topraksız tarım üretimi ile yılın dört mevsimi ulaşılabilir bir meyvedir. Hasattan sonraki dönemde yola dayanıksız ve stoklama açısından riskli olan çilek, bu sebeple bölge ve mevsime göre fiyat farklılıkları göstermektedir. Bu fiyat farklılıkları hem üreticiyi hem de tüketiciyi ve çileği hammadde olarak kullanan gıda endüstrisini de önemli ölçüde etkilemektedir. Haftalık çilek satış fiyatlarını kullanarak, Türkiye'deki haftalık çilek satış fiyatları için tahmin modeli geliştirmeyi amaçladığımız çalışmamızda, zaman serisi verileri trend veya mevsimsellik göstermediği için Box-Jenkins tahmin modelinden yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 21 farklı ARIMA(p,d,q) modelleri arasında en başarılı tahmin sonucunu veren ARIMA(3,1,2) modeli seçilmiştir. Bu modele göre geleceğe yönelik 52 haftalık çilek fiyatı tahmini yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ARIMA, Box-Jenkins, çilek fiyat tahmini, tahmin modeli, tarım ekonomisi.

Abstract

Strawberry, which plays a leading role as a raw material in many fields in the food industry as well as its fresh consumption, is a fruit that can be reached all four seasons of the year with greenhouse and soilless agriculture production, apart from traditional production. Strawberry is not resistant to the road and is risky in terms of stocking in the post-harvest period, therefore shows price differences according to the region and season. These price differences significantly affect both the producer and the consumer and the food industry, which uses strawberries as raw materials. In our study, where we aimed to develop a forecast model weekly strawberry sales prices in Turkey using weekly strawberry sales prices, Box-Jenkins forecasting model was used because time series data do not show trends or seasonality. As a result of the analyzes made, among 21 different ARIMA(p,d,q) models, the ARIMA(3,1,2) model was chosen, which gave the most successful estimation result. According to this model, a 52-week strawberry price prediction was made for the future.

Keywords: Agriculture economics, ARIMA, Box-Jenkins, forecast model, strawberry price forecast.

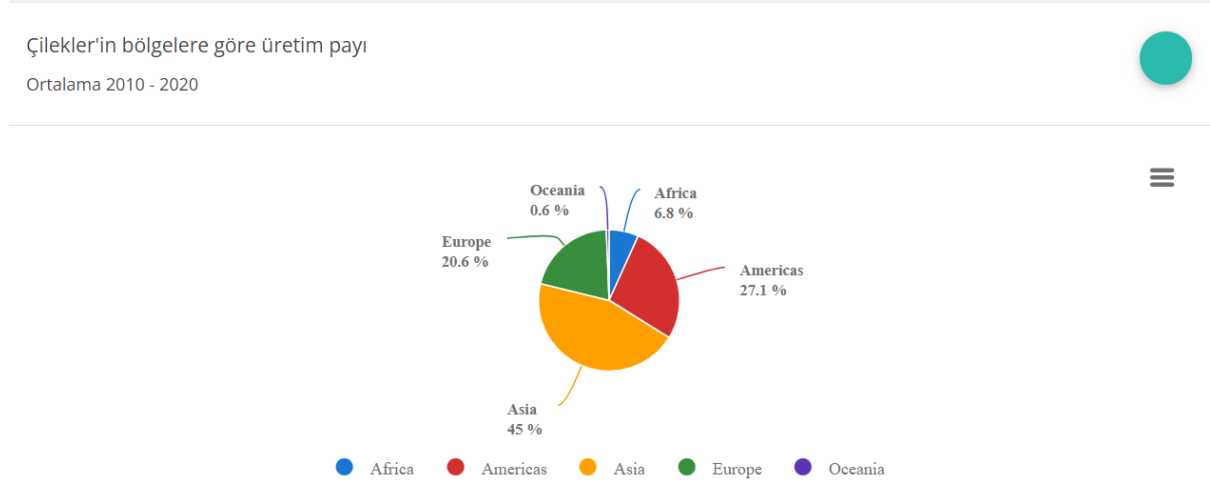
*Bu yayın Begüm AKAN isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
begum.akan@hotmail.com, [Orcid.org/0000-0002-2911-3186](https://orcid.org/0000-0002-2911-3186).

²Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
ebaylan@pirireis.edu.tr, [Orcid.org/0000-0003-4581-2478](https://orcid.org/0000-0003-4581-2478).

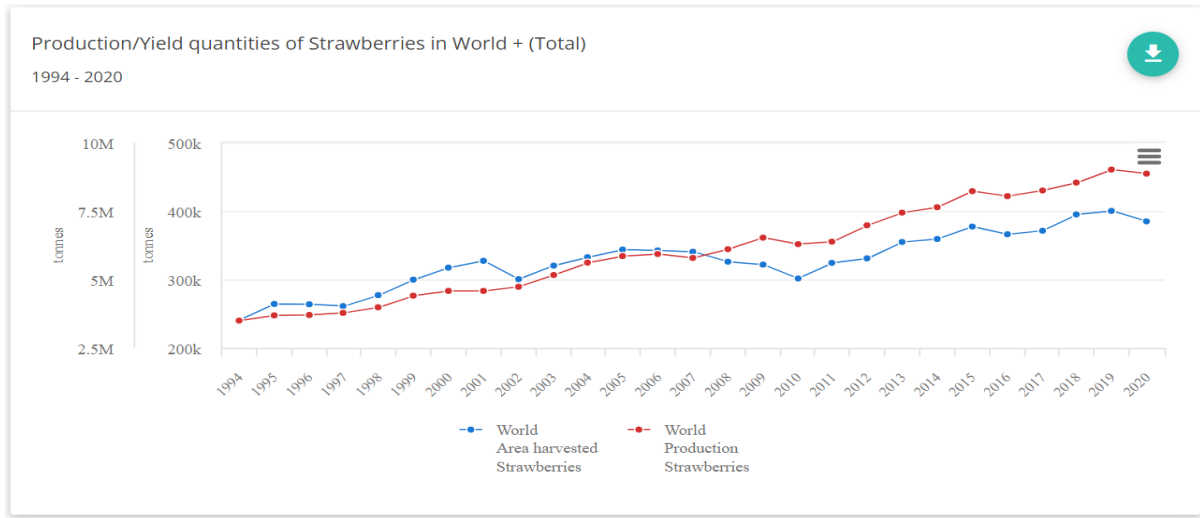
1. GİRİŞ

Çilek sistematikte Rosaceae familyasına ait *Fragaria vesca* olarak bilinir (NİGEP,2012). Çilek dünya çapında birçok bölge ve çeşitli çevre koşullarında yetişebilen bir meyve türüdür. Çileklerin dünya bölgelerine göre üretim payını incelediğimizde FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nation) 2010-2020 arası verilerinde (Şekil 1) %45 Asya, %27,1 Amerika, %20,6 Avrupa, %6,8 Afrika ve %0,6 Okyanusya'nın olduğunu söyleyebiliriz. Çilek, gıda endüstrisinde sadece taze tüketimle kalmayıp birçok sektörde yerini almıştır. Bu sektörleri şu şekilde sıralayabiliriz; dondurulmuş ürünler, reçel ve marmelat, alkollü içecekler, meşrubat, kurutulmuş ürünler, süt ve süt ürünleri, şekerleme ve pasta süsleme sektörleri.

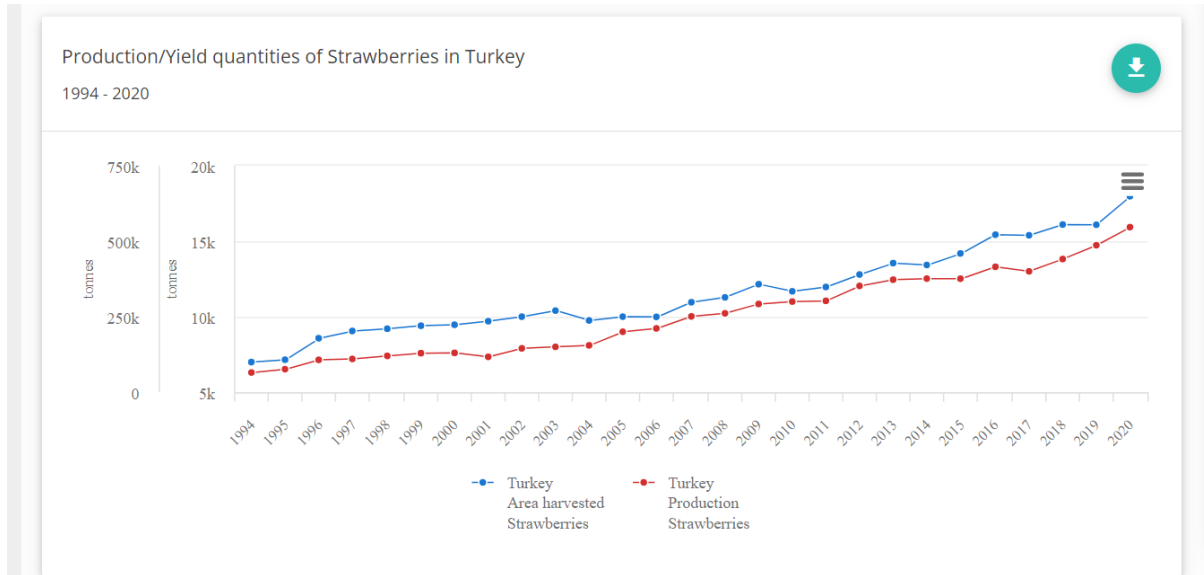


Şekil 1. FAOSTAT Çileklerin Bölgelere Göre Üretim Payı (2010-2020)

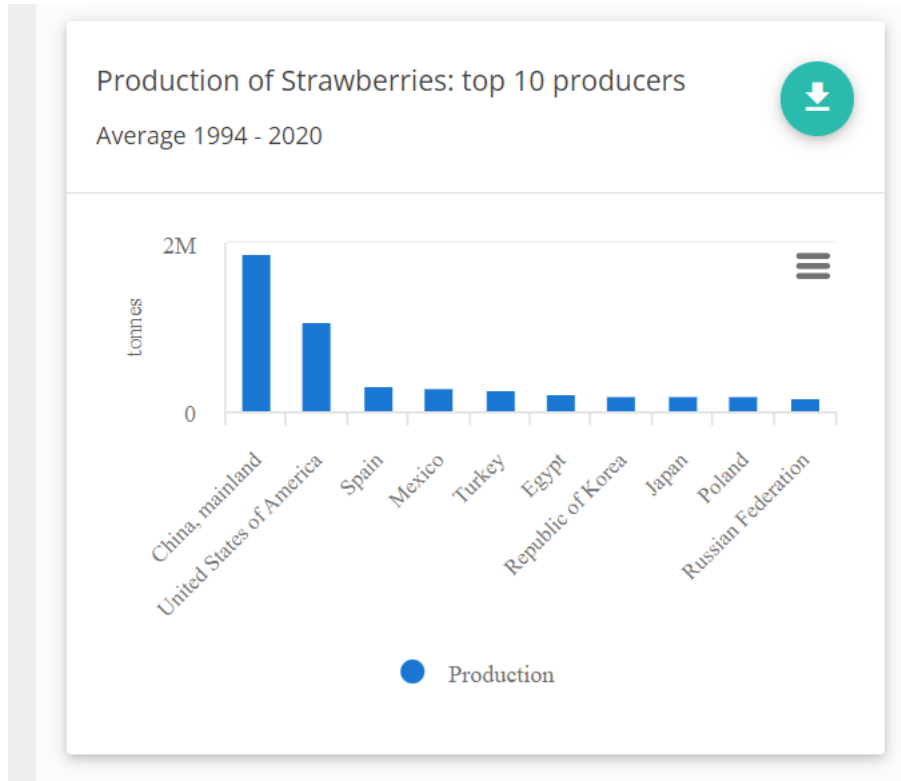
Çilek üretimi günümüzde sadece geleneksel yöntemle yapılmamakta olup, sera üretimi ve topraksız tarım üretimi ile neredeyse dört mevsim devam eden ve sofralarımızda her an ulaşılabilir bir meyve haline gelmiştir. Dünya’da ve Türkiye’de çilek üretimine bakacak olursak; FAOSTAT verilerine göre 2020 yılında dünyada toplam 384668 ha alanda, 8861381 ton çilek üretimi gerçekleşirken (Şekil 2), Türkiye bu verilerin 17978 ha alanında, 546525 ton çilek üretimine sahiptir. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerinde ise bu durum, geleneksel çilek üretiminin 2021 yılı için 186761 dekar alan, 669195 ton üretim, örtü altı çilek üretiminde 2021 yılı için ise 253153 ton üretim olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3). Yine FAOSTAT 2010-2020 yılları arası verilerine baktığımızda; Çin, ABD ve Meksika’dan sonra dördüncü sırada Türkiye’nin dünyada ilk 10 çilek üreticisi arasında olduğunu görmekteyiz (Şekil4).



Şekil 2. FAOSTAT Dünya'daki Çilek Üretim/Verim Miktarları (1994-2020)

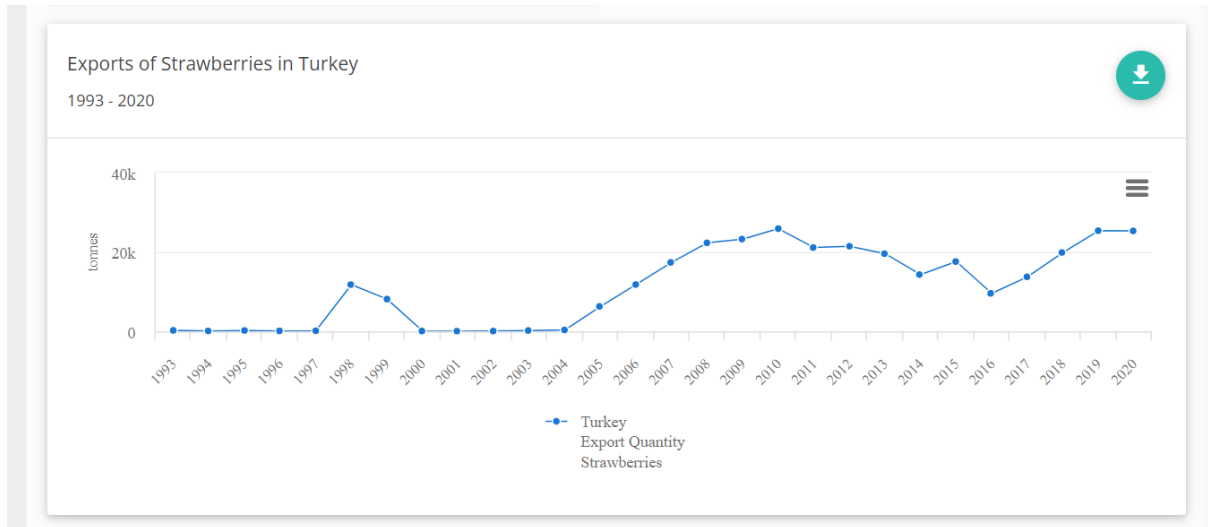


Şekil 3. FAOSTAT Türkiye'deki Çilek Üretim/Verim Miktarları (1994-2020)

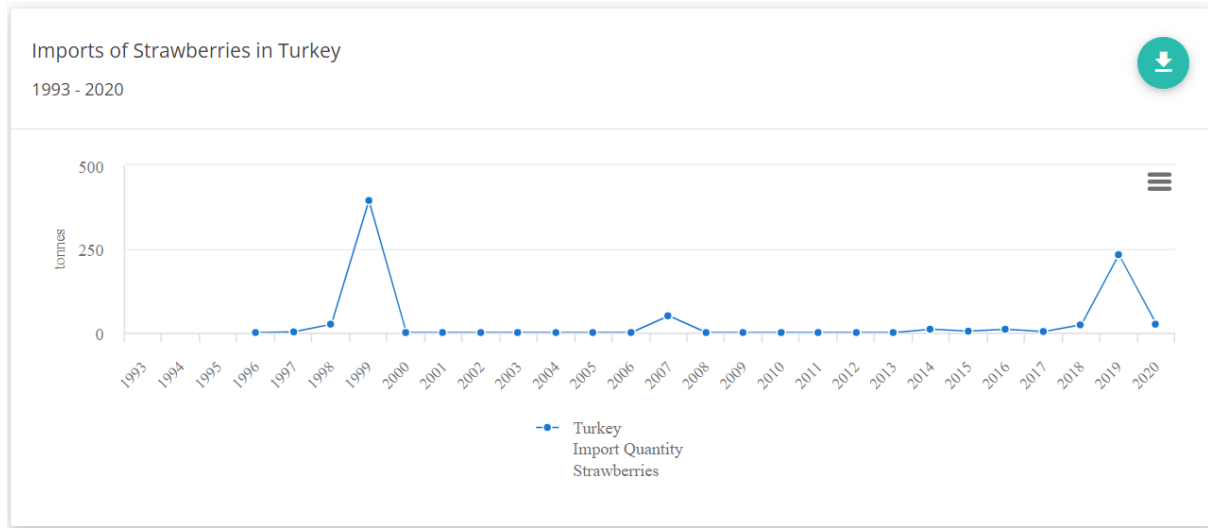


Şekil 4. FAOSTAT Dünya’da ilk 10 Çilek Üreticisi

FAOSTAT’ın verilerine baktığımızda 2010-2020 arası çilek için ilk 5 ihracatçısının sırasıyla; İspanya, ABD, Meksika, Hollanda ve Belçika, ilk 5 ithalatçısının ise sırasıyla; ABD, Almanya, Kanada, Fransa ve Birleşik Krallık olduğunu görmekteyiz. FAOSTAT’ın 2020 yılı verilerinde ise Türkiye çilek ihracatının 25298 ton (Şekil 5), çilek ithalatının ise 25 ton (Şekil 6), olduğu kayıtlıdır. Tarım Ürünleri Piyasaları Haziran 2021 raporunda 2020 yılı için Türkiye taze çilek ihracatında önemli ülkelerin yüzdeleri şu şekildedir; Rusya %57,8 , Romanya %22,9 , Irak %12,3 , Gürcistan %2,7 , Suriye %1,4 , Sırbistan %0,8 ve Diğer ülkeler %2,2. Yine aynı raporda 2020 yılı için Türkiye dondurulmuş çilek ihracatında önemli ülkelerin yüzdeleri şöyle sıralanmaktadır; ABD %32,8 , Almanya %18,5 , Kanada % 10,9 ,Birleşik Krallık % 9,3 , İtalya % 5,9 , Danimarka %5,5 ve Diğer ülkeler %17,5.



Şekil 5. FAOSTAT Türkiye Çilek İhracatı (1993-2020)



Şekil 6. FAOSTAT Türkiye Çilek İthalatı (1993-2020)

Çilek fiyat tahmini yapmamızda üç önemli unsur karşımıza çıkmaktadır; üreticiler, tüketiciler ve gıda endüstrisi. Üreticiler açısından baktığımızda çilek fiyatlarını etkileyen birçok parametre mevcuttur. Bunlardan bazıları; fide fiyatları, üretim için gerekli enerji kaynakları giderleri, personel giderleri, gübre ve ilaçlama masraflarıdır. Üretici belirli talep pazarına karşılık ürettiği çileklerin fiyat tahminlerinden yararlanıp karlı olup olmadığına karar vererek bu üretimi gerçekleştirecek olmasıdır. Bunun yanı sıra tüketiciye kadar üretici fiyatlarına eklenecek üretici karı, ulaşım ve pazarlama masrafları gibi ek masraflarda ekleneceğinden tüketici fiyatlarında bir takım artışlar gözlenecektir. Bu hususta fiyat tahminleri tüketicinin alım gücüne karşılık ürünü tercih edip etmeme kararında önemli olacaktır. Üçüncü unsur olarak da bahsetmemiz gereken çileği hammadde olarak kullanan ve yeni bir ürün elde eden gıda endüstrisidir. Burada tabii ki de gıda endüstrisi çileği toptan fiyatlarından alıyor olsa da üreteceği ürün için yan ürün, enerji kaynakları, ambalaj ve personel giderleri gibi birçok faktör de ekleneceği ve ürettiği üründen belli bir kar elde etmek isteyeceği için de, çileğin fiyat tahmini gıda endüstrisinin ürünü üretip üretmemeye kararını etkileyecektir.

Yapılan çalışmada, geleceğe yönelik Türkiye'deki 52 haftalık çilek satış fiyatları için Box-Jenkins modeli kullanılarak tahmin modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Türkiye'de 2022 yılı itibarıyla çilek fiyatlarının tahmin edilmesi amacıyla çıktığımız yolda, araştırmamıza katkıda bulunacak bir takım literatür araştırması gerçekleştirdik. Literatür araştırmamızda ilk dikkat ettiğimiz Dünya'da ve Türkiye'de yapılmış çilek fiyat tahminleriydi. Fakat bu konu hakkında yeterli derecede veri bulamamıza karşılık araştırmamıza diğer meyveler ve tarımsal ürünleri de ekleyerek fiyat, verim, üretim miktarı gibi parametreleri de tahmin eden çeşitli çalışmalardan yararlandık. Yararlandığımız bu kaynakları açıklayacak olursak; Erdal (2006), çalışmasında Türkiye'de ticari olarak gerçekleştirilen domates üretiminde, Koyck modelini kullanarak üretim miktarı ve fiyat ilişkisini analiz etmiştir. Yazar analizinde 1975-2004 dönemi verilerini kullanmıştır. Analiz sonuçlarında ise domates üretiminin geriye doğru en fazla üç yılın fiyatından etkilendiğini, domates fiyatlarında ortaya çıkan değişimin üretiminde önemli ve hissedilebilir bir etkiye neden olması için gereken zamanın 18,23 yıl olduğunu belirtmiştir. İbrahim & Florkowski (2007), Güney Tarım Ekonomisi yıllık toplantısında sundukları makalede, Pikan Cevizi fiyatları ile stoklar arasındaki ilişkiyi Engle Granger & Johansen eş bütünlük

yaklaşımıyla incelemiş ve tahminlerinde tek değişkenli ARIMA ve eş bütünleşme yöntemlerini kullanmıştır. Ocak 1992-Aralık 2004 arasındaki aylık verileri kullandıkları çalışmada hem stokların hem de fiyatların durağan olmadığını gözlemlemişlerdir. Sonuçlarında, ARIMA modelinin daha kısa tahmin sürelerinde dahi iyi performans gösterdiğini, eş bütünleşme yöntemlerinin en küçük MAPE (Mean Absolute Percentage Error) istatistiğine sahip Engle Granger eş bütünleşme ile ARIMA modelinden daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır. Ibrahim & Florkowski 2009 yılında, 2007 çalışmalarındaki pıkan cevizinin yanı sıra ek olarak bademi de ekleyerek üçünün fiyat tahminini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu tahminler için Johansen eş bütünleşme tekniğini ve otoregresif entegre hareketli ortalama zaman serisi modellerinden yararlanarak bir vektör otoregresyon modelini araştırmışlardır. Yayınladıkları makalede, ARIMA ve VECM (Vector Error Correction Model) modelleri arasında daha iyi bir tahmin modeli seçimi yapmak istemişlerdir, fakat araştırdıkları ürünlerin fiyatları arasında uzun dönemli bir ilişki olmadığını gözlemledikleri için VECM modelini kullanamamış, yalnızca ARIMA modelinden yararlanmışlardır. Avokado fiyatlarını tahmin etmek isteyen Evans & Nalapang (2009), araştırmalarında 2007/2008 ile 2011/2012 sezonları için, regresyon modelinden yararlanarak tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca ME (Mean Error), MAE (Mean Absolute Error) MSE (Mean Squared Error), RMSE (Root Mean Squared Error) ve Theil's U statistics, istatistiklerini kullanarak tahminin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. 1996 ve 2018 yılları arasında günlük toptan satış fiyatı, haftalık toptan satış fiyatı ve aylık toptan satış fiyatı verilerini kullanarak domatesin kısa dönemli fiyat tahminini yapmayı amaçlayan Live ark., (2010), ARIMA zaman serisi modeli ile karşılaştırmalı olarak ileri beslemeli bir ANN (Artificial Neural Network) modelinden yararlanmışlardır. Sonuç olarak, ANN modelinin bir gün veya bir hafta öncesindeki fiyatı tahmin etmede daha iyi performans gösterdiğini ve modellenen ve gerçek fiyatlar arasında iyi bir korelasyon olduğunu, göreceli hatanın ise %5.0'dan az olduğunu bulmuşlardır. Türkiye, Antalya'daki domates fiyatlarının aylık toptan satış düzeyinde tahmin etmek isteyen Adanacıoğlu & Yercan (2012), 2000'den 2010'a kadar olan fiyatları ve SARIMA (Seasonal ARIMA) modelini kullanmışlardır. Araştırma sonuçlarında domates fiyatları tahminine en yakın olan modelin SARIMA (1,0,0) (1,1,1) modeli olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mishra & Singh (2013), yarfıstığı yağı fiyatlarının tahmininde Box-Jenkins metodolojisini yapay sinir ağı (ANN=Artificial Neural Network) metodolojisi ile karşılaştırmıştır. 1994'ten 2010'a kadar aylık veriler kullandıkları araştırmalarında ortalama karesel hata, kök ortalama kare hata ve ortalama mutlak yüzde hatanın ARIMA tahmininde daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Box-Jenkins yöntemini kullanan bir diğer yazarlardan Özer & Gül Yavuz (2014), kongre bildirimleri için Eylül 2005-Eylül 2013 arasındaki 96 aylık fındık ihracat fiyat serisini kullanarak yaptıkları araştırmalarında en uygun model olarak ARIMA (2,1,1) modelini belirlemişlerdir. Uysalve ark., (2016), XII. Tarım Ekonomisi Konferansı için Türkiye'nin 1981-2014 yıllarına ait muz üretim ve muz ithalat miktarlarını Delphi metodunun kullanarak incelemiş ve sübjektif düzeltme yöntemine göre yeni seri oluşturmuşlardır. Bu yeni seri Boz-Jenkins metodlarından biri olan Çift Üstel Düzeltme Yöntemi kullanılarak 2015-2019 yılları için tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Mangonun yıllar içindeki fiyat eğilimini belirlemek, fiyat tahmini için uygun bir model önermek ve kısa vadeli fiyatları tahmin etmek isteyen Aphinayave ark., (2016), Box-Pierce istatistiği ve tahmin edilen parametreleri dikkate alarak en iyi performans gösteren tahmin modelinin SARIMA (1,0,0) (0,1,1) olduğuna karar vermişlerdir. Ayrıca seçilen mango çeşitlerinin fiyatlarının 2004-2014 yılları arasında artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Çeltik, Ragi ve Mısır ürünlerinin 2002'den 2016'ya kadar olan zaman serisi verilerini kullanan Jadhav ve ark., (2017), fiyat tahmininde ARIMA modelini uygulamışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre, 2020 fiyat tahmini için ARIMA modelinin gücünü kanıtlamışlardır. Ayrıca tahmin doğruluğunu MSE, MAPE ve Theil's U kriterlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Rathodve ark., (2017), bir vaka çalışması olarak Karnataka'daki muz üretimini hibrit modellerin tahmin performansını değerlendirmek için kullanmışlardır. Bu değerlendirme için ARIMA modelini TDNN (Time Delay Neural Network) ve NLSVR (Nonlinear Support Vector Regression) ile

birleştirerek hibrit modeli oluşturmuşlardır. Çalışmalarının sonuçlarında ise, hibrit modellerin tahmin doğruluğunun ARIMA modeline kıyasla daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır. ARIMA modelini çeltik fiyatlarını tahmin etmek için kullanan Darekar & Reddy (2017), Ocak 2016 ile Aralık 2016 arasındaki aylık ortalama çeltik fiyatlarına ilişkin zaman serisi verilerinden yararlanmışlardır. Makalelerinde Hindistan'da çeltik fiyat tahmini için en temsili modelin ARIMA modeli olduğu sonucuna varmışlardır. 1965-2015 yılı FAOSTAT verilerini kullanarak 2016-2025 yılı için Türkiye'deki çilek hasat alanı ve üretimini tahmin etmeyi amaçlayan Akın ve ark., (2017), çalışmalarında ARIMA (0,1,1), ARIMA (1,1,0), ARIMA (1,1,1) ve Holt, Brown, Damped yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışmalarında Holt tekniği en iyi projeksiyonu gerçekleştirmiş olmasına rağmen, Brown modelini en uygun yöntem olarak seçmişlerdir. Çalışmalarında Box-Jenkins yaklaşımını kullanan Ullahve ark., (2018), 1997-98 ile 2014-15 dönemi zaman serisi verilerinden yararlanarak Pakistan'daki şeftali alanı ve üretimini tahmin etmeyi amaçlamışlardır. En iyi tahmin modelini Akaike bilgi kriteri, Bayesian bilgi kriteri ve Hannan Quinn bilgi kriterinin en düşük değerlerine göre ARIMA (1,1,0) olarak belirlemişlerdir. Intaramo & Yimnak (2018), makalesinde Tayland'da tubtim chandra rose apple ve shogun orange fiyatlarının tahmin edilmesi için bulanık tersine dayalı bulanık zaman serisi modeli ve SARIMA modelini uygulamışlardır, fakat çalışmadan elde edilen verilerin belirsiz olduğunu gözlemlemişlerdir. Buna karşılık iki yöntemin doğruluğunu MAPE ile karşılaştırmışlar ve değiştirilmiş zaman serisi tahmin yöntemi ile tahmin değerlerinin SARIMA modelinden daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Çok değişkenli doğrusal regresyon, sığ yapay sinir ağı ve LSTM (Long-Short Term Memory) olmak üzere üç regresyon modelini inceleyerek tahıl fiyatlarını tahmin etmek isteyen Liu & Yu (2019), yaptıkları çalışmada yapay sinir ağı modelinin küçük bir veri seti üzerinde fiyat tahmininde diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini gözlemlemiştir. Mehmoodve ark., (2019), 1947-2017 arasındaki verilerden yararlanarak 2018-2030 yılları için Pakistan'daki şeker kamışı üretimini tahmin etmek için Box-Jenkins yöntemini kullanmışlardır. Sonuçlarında istenilen yıllarda önemli bir artış miktarı gösteren ARIMA (2,1,1) modelini önermişlerdir.

Ocak ile Mart 2018 arasında Tayland'da palmye yağı fiyatlarını, ham palm yağı fiyatlarını ve ham palm yağı üretimini tahmin etmek isteyen Suppalakdanya ve ark., (2019), DES (Double Exponential Smoothing), MHW (Multiplicative Holt Winters), AHW (Additive Holt Winters), IAHW (Improved Additive Holt Winters) ve EAHW (Extended Additive Holt Winters) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonuçlarında palm yağı ve ham palm yağı fiyatlarının tahmininde DES ve EAHW yöntemlerinin, ham palm yağı üretimi tahmininde de IAHW ve EAHW yöntemlerinin daha iyi performans sağladıklarını gözlemlemişlerdir. L. Maskey ve ark., (2019), çalışmalarında çilek verimi ile ilgili çeşitli hava parametreleri arasındaki korelasyonu araştırmak ve verim tahmini yapmayı amaçlamışlardır. Bu amaçları doğrultusunda PPCR (Predictive Princibal Component Regression), NN (Neural Network) ve RF (Random Forest) yöntemlerinden yararlanmışlardır. Yaptıkları korelasyon analizinde, tüm parametrelerin çilek verimi ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve haftalık verim tahmin modelleri geliştirme potansiyeli sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca NN (Neural Network) yönteminin çilek verimini tahmin etmede daha iyi performans sağladığı sonucuna varmışlardır. Döviz kurunun üretici muz fiyatları ve muz ithalatına etkisini ve üretici muz fiyatlarının muz üretimi üzerindeki etkisini incelemek isteyen Boz & Hüseyinli (2019), çalışmalarında 1994-2015 dönemi verilerini kullanarak korelasyon ve regresyon testi uygulamışlardır. Korelasyon analiz sonuçlarına göre döviz kuru, üretici muz fiyatları ve ithalatı arasında doğrusal bir ilişki gözlemlemişlerdir. Yıldız & Atış (2019), 2013-2018 yılları arasında 58 aylık organik kuru incir toplam ihracat miktarları ve fiyatları verilerini kullanarak, Box-Jenkins tahmin modeli ile 2018-2020 yılı için birim reel fiyatlarını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarının sonuçlarında ise birim reel ihraç fiyatlarının azalma eğilimi, ihracat miktarlarının ise artma eğilimi göstereceğini belirlemişlerdir. Garcia ve ark., (2019), çalışmalarında bir vaka çalışması olarak Queretara eyaleti, meyve ve sebzelerin fiyat tahmini metodolojisini gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç için Ocak

2009'dan Şubat 2019'a kadar olan meyve ve sebzelerin günlük fiyatlarını kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda SARIMA modelini önermişlerdir. Kaliforniya hava durumu verileri, çilek verimi, çilek çiftlik kapı fiyatları ve perakendeci satın alma fiyatı verilerini kullanarak çilek fiyatı için en iyi tahmin modelini seçmeyi amaçlayan Okwuchi (2020), tez çalışmasında en iyi iki modelin Attention CNN-LSTM (AC-LSTM) ve Attention ConvLSTM (ACV-LSTM) olduğunu bulmuştur. Zhang ve ark., (2020), çalışmalarında tarımsal emtia fiyatlarını göstermek için yirmi dokuz özellik kullanmış ve aday tahmin modelleri olarak ANN (Artificial Neural Network), SVR (Support Vector Regression) ve ELM (Extreme Learning Machine) yöntemlerini belirlemişlerdir. Bu aday modellerin özellikleri ve performansları arasındaki temel ilişkileri öğrenmek için RF (Random Forest) ve SVM (Support Vector Machine) uygulamışlardır. Bunun yanında özellik fazlalığını azaltmak ve tahmin doğruluğunu iyileştirmek için MRMR (Minimum Redundancy and Maximum Relevance) kullanmışlardır. Ocak 2002'ten Haziran 2020'ye kadar olan aylık zaman serisi verilerini kullanarak SARIMA modeli ile Tayland durian meyvesinin üretim ve ihracatını tahmin etmeyi amaçlayan Rueangritve ark., (2020), çalışmalarında SARIMA (2,1,1) (0,1,1) modelinin Tayland'ın durian üretimini, SARIMA (2,1,1) (4,1,1) modelinin Çin pazarına durian ihracatını ve SARIMA (4,1,1) (0,1,1) modelinin Dünya pazarına durian meyve ihracatını tahmin etmek için en başarılı modeller olduğu sonucuna varmışlardır. Türkiye şeftali ihracat fiyatlarını tahmin etmek isteyen Erdoğan (2021), tezinde 1967-2020 yılları arasındaki verilerini Box-Jenkins yönteminin ARIMA (3,1,3) modeli ile modellemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre, 2021 yılı içerisinde beklenen ihracat gelirlerinin yaklaşık %10 artış göstereceğini tahmin etmiştir. Ayrıca gelecek on yılda da düzenli bir artış hareketini öngörmektedir. Kaliforniya, Santa Barbara şehrinde çilek verimini ve fiyatlarını tahmin etmeyi amaçlayan Chaudharyve ark., (2021), çalışmalarında ATT-CNN-LSTM Series Net_Ens, GRU ve ATT-CNN-LSTM aşamalarından oluşan bir tahmin modeli önermişlerdir. AGM (Aggregated Performance Measure)'ye dayalı olarak bu aşamaların en iyi performans gösteren bileşen modeline kıyasla tahmin performansını %5 artırmakla kalmayıp aynı zamanda derin öğrenme (DL=Deep Learning) modelinden verim tahmini için %33 ve tahmin fiyatları için %21 daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır. Chaudhary (2021), tezinde arkadaşları ile yazdığı makalenin yanı sıra çilek rekoltesinin ve fiyatlarının tahmin edilmesi için en etkili girdi parametrelerinin seçimini araştırmıştır. Tez çalışmasında ATT-CNN-LSTM ve ATT-ConvLSTM olmak üzere iki derin öğrenme modelinden yararlanmıştır. Sonuç olarak toprak ve hava parametrelerinin birlikte kullanılmasının, toprak veya hava parametrelerinin tek başına kullanılmasından daha iyi tahmin sonuçları verdiğini bulmuştur. Çalışmalarında Türkiye'de domates sektörünün mevcut durumunu ve ihracatını inceleyerek, 2020 yılı ilk 7 aylık domates ihracatını tahmin etmeyi amaçlayan Eşidir & Metin (2021), bu tahmini gerçekleştirmek için yapay sinir ağlarından yararlanmış ve SPSS 25 paket programını kullanmışlardır. Çalışmaları sonunda domates ihracat tahmininde yapay sinir ağları metodunun geçerli ve güvenli sonuçlar ürettiğine karar vermişlerdir. Mango alanı ve üretkenliği tahmini için SES (Simple Exponential Smoothing) yöntemini kullanan Garde ve ark., (2021), çalışmalarında alfa 0,8 değerinin %2,56 ve alfa 0,9 değerinin %2,89 MAPE hatası gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra Gujarat'ın Navsari pazarları için mango fiyat tahmininde ARIMA (5,1,2) ve ARIMA (3,1,1) modellerinin en başarılı sonuç veren modeller olduğunu ortaya koymuşlardır. Sukiyonave ark., (2021), çalışmalarında il pazarındaki toptancı ve çiftçi taze meyve salkımı fiyatları ve uluslararası ve iç piyasada ham palm yağ fiyatlarının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda çift üstel yumuşatma, otoregresif tümlleşik hareketli ortalama ve klasik ayrıştırma olmak üzere üç modelden yararlanmışlardır. Model verilerini, ham palm yağı için Ocak 2012-Ekim 2016 ve Ocak 2012-Nisan 2017 tarihleri arasındaki aylık veriler iken, taze meyve salkımı için 2007-2014 arası aylık veriler oluşturmaktadır. Çalışmalarının sonuçlarında tüm piyasa seviyelerinde tüm fiyatlar için en doğru yöntemin ARIMA olduğunu gözlemlemişlerdir. FAO ve TÜİK'den elde edilen 1970-2019 dönemi 50 yıllık verilerden yararlanarak gelecek dört yıllık dönemde Türkiye taze kayısı üretimini tahmin etmeyi amaçlayan Güler ve ark., (2021), çalışmalarında ARIMA (Box-Jenkins)

modelinden yararlanmış ve ARIMA (1,1,1)'in daha iyi performans sağladığı sonucuna varmışlardır.

Tablo 1. Box-Jenkins Yöntemi Literatür Taraması

YAZAR ADI VE YIL	YAYIN ADI
Erdal, G. 2006.	Tarımsal Ürünlerde Üretim – Fiyat İlişkisinin Koyck Yaklaşımı İle Analizi (Domates Örneği)
Ibrahim, M. & Florkowski, W. J. 2007	Forecasting U.S. Shelled Pecan Prices: A Cointegration Approach
Ibrahim, M. & Florkowski, W. J. 2009	. Forecasting Price Relationships among U.S Tree Nuts Prices
Evans, E.A. & Nalampang, S. 2009	Forecasting Price Trends in the U.S. Avocado, (Persea americana Mill.) Market
Li, G. Xu, S. & Li, Z. 2010	Short-Term Price Forecasting for Agro-products Using Artificial Neural Networks
Adanacıoğlu, H. & Yercan, M. 2012	An Analysis of Tomato Prices at Wholesale Level in Turkey: An Application of SARIMA Model
Mishra, G.C. & Singh, A. 2013	A Study on Forecasting Prices of Groundnut Oil in Delhi by Arima Methodology and Artificial Neural Networks
Özer, O. O. & Gül Yavuz, G. 2014	Box-Jenkins Modeli Yardımıyla Fındık Fiyatının Tahmini
Uysal, O. Subaşı, O.S. & Yaşar, B. 2016	Türkiye Muz Üretim ve İthalatının Box-Jenkins ve Delphi Yöntemleri ile Tahmini
Aphinaya, M. Rathnayake, R. M. C. W. M. Sivakumar, S. & Amarakoon, A. M. C.2016.	Price Forecasting of Mango Using SARIMA Model
Jadhav, V. Reddy, B.V. C. & Gaddi, G. M. 2017	Application of ARIMA Model for Forecasting Agricultural Prices
Rathod, S. Mishra, G. C. & Singh, K. H. 2017	Hybrid Time Series Models for Forecasting Banana
Darekar, A. & Reddy, A. 2017	Forecasting of Common Paddy Prices in India
Akın, M. & Peral Eydurhan, S. 2017	Forecasting Harvest Area and Production of Strawberry Using Time Series Analyses
Ullah, A. Khan, D. & Zheng, S. 2018	Forecasting of Peach Area and Production Wise Econometric Analysis
Intaramo, R. & Yimnak, K. 2018	The Forecasting Efficiency of Fuzzy Time Series Model Based on Fuzzy Inverse for Forecasting Thailand Fruit Price
Liu, N. & Yu, J. 2019	Raw Grain Price Forecasting with Regression Analysis
Mehmood, Q. Sial, M. H. Riaz M. & Shaheen, N. 2019	Forecasting the Production of Sugarcane Crop of Pakistan for the Year 2018-2030, Using Box-Jenkins Methodology
Suppalakpanya, K. Nikhom, R. Booranawong, T. & Booranawong, A. 2019	Forecasting oil palm and crude palm oil data in Thailand using exponential time-series methods

L. Maskey, M. B. Pathak, T. & K. Dara, S. 2019	Weather Based Strawberry Yield Forecasting at Feild Scale Using Statistical and Machine Learning Models
Boz, F. & Hüseyinli, N.2019	Türkiye’de Muz Üretimi ve İthalatına Yönelik Bir Tahmin Modellemesi
Yıldız, M.C. & Atış, E. 2019	Türkiye Organik Kuru İncir İhraç Fiyatının ARMA Yöntemi ile Tahmini
Garcia, W.J.P. Velázquez, R.V.O. Pacheco, I.T. & Jiménez, C.A.C. 2019	Price Forecasting and Span Commercialization Opportunities for Mexican Agricultural Products
Okwuchi, I. 2020	Machine Learning Based Models for Fresh Produce Yield and Price Forecasting for Strawberry Fruit
Zhang, D. Chen, S. & Xia, Q. 2020	Forecasting Agricultural Commodity Prices Using Model Selection Framework With Time Series Features and Forecast Horizons
Rueangrit, P. Jatuporn, C. Suvanvihok, V. & Wanaset, A. 2020	Forecasting Production and Export of Thailand’s Durian Fruit: An Empirical Study Using the Box-Jenkins Approach
Erdoğan, M. A. 2021	Türkiye’de Şeftali Fiyatlarının Analizi ve Fiyatların Box-Jenkins Yöntemiyle Tahmini
Chaundhary, M. Gastli, M.S. Nassar, L. & Karray, F. 2021	Deep Learning Approaches for Forecasting Strawberry Yield and Prices Using Satellite Images and Station-Based Soil Parameters
Chaundhary, M. 2021	AI Aided Tools for Fresh Produce Yield and Price Forecasting Deep Learning Approaches
Eşidir, K.A. & Metin, S. 2021	Türkiye Domates İhracatının Yapay Sinir Ağları Yöntemi Kullanılarak Tahmin Edilmesi
Garde, Y.A. Chavda, R.R. Thorat, V.S. & Pisal, R.R. 2021	Forecasting of Area, Productivity and Prices of Mango in Navsari district, Gujarat
Sukiyono, K. Arianti, N.N. Sumantri, B. Romdhon, M.M. Suryanty, M. & Adiprasetyo, T. 2021	A Model Selection for Price Forecasting of Crude Palm Oil and Fresh Fruit Bunch Price Forecasting
Güler, D. Uçar, K. & Engindeniz, S. 2021	Türkiye’de Kayısı Üretiminin ARIMA Modeli ile Tahmini

Türkiye’de 52 haftalık çilek fiyat tahmini yapmayı amaçladığımız çalışma için yaptığımız literatür taramasında, fiyat tahmini konusunda bir çok araştırma ile karşılaşmış olsak da çilek fiyatı tahmini açısından yeterli sayıda araştırma yapılmamış olduğunu, daha çok üretim miktarı ve verimi üzerine yoğunlaştıklarını görmüş bulunmaktayız. Bunun yanı sıra genel olarak incelediğimiz meyve ve tarımsal ürünlerin fiyat tahminlerinde çalışılan zaman serileri yüksek durağanlık gösterdiği için tahmin yöntemlerinden Box-Jenkins yönteminin ağırlıklı olarak kullanıldığını fark etmekteyiz. Daha detaylı bahsetmek gerekiyorsa, toplamda incelediğimiz 33 yayının 27’sinde Box-Jenkins yönteminden yararlandığı, bu 27 yayının sadece 5 tanesinde diğer yöntemler ile birlikte kullanıldığı veya karşılaştırıldığını görmekteyiz. Diğer 6 yayında ise, Yapay Sinir Ağı, LSTM yöntemi, Regresyon yöntemi ve Holt-Winters yönteminin kullanıldığını söyleyebiliriz.

3. BOX-JENKINS TAHMİN MODELLERİ (ARIMA)

ARIMA modellerinin ilk temeli 1921’de Yule tarafından AR modellerinin ortaya çıkarılmasıyla atılmıştır. Daha sonra 1927’de Shutsky tarafından MA modelleri oluşturulmuş ve 1954’te Wold tarafından oluşturulan AR ve MA’ nın birleşimi olan ARMA modelleri kullanılmaya başlanmıştır. 1970-1976 yıllarında ise Box ve Jenkins tarafından ARIMA modelleri geliştirilmiştir (Kaya, 2019).

Box-Jenkins yönteminin temel esası, zaman serilerinin herhangi bir dönemindeki değerini aynı serinin geçmiş dönem değerlerinin ve hata terimlerinin doğrusal birleşimi ile açıklamaktır (Kaya, 2019).

Box-Jenkins yöntemi tek değişkenli zaman serilerinin ileriye dönük tahmin ve kontrolünde kullanılan istatistiksel öngörü yöntemlerinden biridir (Kaynar & Taştan,2009).

Box-Jenkins yöntemi ile tahmin edilen zaman serisi modelleri:

- Otoregresif Modeli (AR)
- Hareketli Ortalama Modeli (MA)
- Otoregresif Hareketli Ortalama Modeli (ARMA)
- Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama Modeli (ARIMA) (Kaynar & Taştan,2009).

Bir ARIMA sürecinin kendisiyle ilişkili üç sabiti vardır:

- Otoregresif terimlerin sayısı için p,
- Fark alma sırası için d,
- Hareketli ortalama terimlerinin sayısı için q (Nahmais & Olsen,2015).

Genel ARIMA süreci ARIMA (p,d,q) olarak gösterilecektir. Bu parametreler negatif olmayan herhangi bir tamsayı olabilsede, p,d veya q değerlerinden herhangi birinin 2’yi aşması çok nadirdir. Bu nedenle, pratikte bulunan hemen hemen tüm ARIMA modelleri p,d ve q değerleri için 0,1 veya 2 değerine karşılık gelir (Nahmais & Olsen,2015).

Box-Jenkins tahmin modellerini oluşturmak için 4 ana adım vardır.

3.1. Veri Dönüşümleri

Box-Jenkins metodolojisi, durağan bir zaman serisi ile başlamaya dayanır. Serinin gerçekten durağan olduğundan emin olmak için birkaç ön adım gerekli olabilir. Farkın trend ve mevsimselliği ortadan kaldırdığımızı biliyoruz. Bununla birlikte, serinin ortalaması nispeten sabit ve varyansın sabit olmaması durumunda verilerin dönüştürülmesini gerektirebilir (Nahmais & Olsen,2015).

3.2. Model Tanımlama ve Parametre Tahmini

Bu adım, tam olarak hangi ARIMA modelinin en uygun görüldüğünü belirlemeyi ifade eder. Sadece serinin kendisini inceleyerek uygun modeli belirlemek imkansız değilse de zordur. Bilinen süreçlerinkilerle eşleşen kalıpları ayırt etmek için örnek otokorelasyonları ve kısmi otokorelasyonları incelemek çok daha etkilidir (Nahmais & Olsen,2015).

Uygun modeli tanımladıktan sonra, model parametrelerinin optimal değerleri belirlenmelidir. Tipik olarak bu, ya en küçük kareler yöntemi ya da maksimum olabilirlik yöntemi ile yapılır. Her iki durumda da, bu adım bir bilgisayar programı tarafından yapılır (Nahmais & Olsen,2015).

3.3. Modelin Uygunluk Testi

Modelin parametreleri tahmin edildikten sonra modelin verilere uyum sağlayıp sağlamadığı araştırılmaktadır. İlk olarak gözlem serisi ile modelden elde edilen tahmin serisinin zaman serisi grafiği karşılaştırılır. Bu aşamadan sonra modelin hata terimlerinin analizine geçilmektedir (Can,2009).

3.3.1. Hata terimlerinin otokorelasyon fonksiyonu

Model uygun ise, hata terimleri arasında otokorelasyon olmaması (beyaz gürültü sürecine sahip olması) gerekmektedir. Beyaz gürültü süreci özelliğini gösteren hata terimleri; sıfır ortalama ve sabit varyans olup, her gecikme için otokorelasyon değerleri anlamsız dolayısıyla birbirinden bağımsızdır (Can,2009).

3.3.2. Box-Pierce ve LJung –Box testi

Box-Pierce ve LJung-Box testleri hata terimlerinde elde edilen otokorelasyon katsayılarının istatistik olarak anlamlılığını tek tek değil de bir arada test edilmesini sağlayan testlerdir (Can,2009).

Box-Pierce Q İstatistiği

$$Q = n \sum_{k=1}^m \rho_k^2 \quad (1)$$

LJung-Box Q İstatistiği

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\rho_k^2}{(n-k)} \quad (2)$$

$$\rho_k = \frac{\sum e_t e_{t-k}}{\sum e_t^2} \quad k=1,2,\dots,m \quad (3)$$

n= gözlem sayısı

m=gecikme sayısı

p=modeldeki AR parametre sayısı

q=modeldeki MA parametre sayısı

ρ_k = hata terimleri serisinin otokorelasyon katsayısı (Can,2009).

3.3.3. Bilgi kriterleri

Modelin derecesinin yüksek olmasından dolayı serbestlik derecesinde oluşacak kaybın bir cezası vardır. Bilgi kriterleri bu cezayı en küçük yapacak model derecesini (parametre sayısı) belirlemek için gerek zaman serilerinde gerek regresyon analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Can,2009).

- Akaiki Bilgi Kriteri (AIC)
- Schwartz'ın Bayesian Bilgi Kriteri (SBIC)
- Hannan-Quinn Bilgi Kriteri (HQIC)

en çok kullanılan bilgi kriterleridir (Can,2009).

$$AIC = \ln \sigma_e^2 + \frac{2k}{n} \quad \frac{2k}{n}; \text{ ceza faktörü} \quad (4)$$

$$SBIC = \ln\sigma_e^2 + \frac{k}{n}\ln(n) \quad \frac{k}{n}\ln(n) ; \text{ ceza faktörü} \quad (5)$$

$$HQIC = \ln\sigma_e^2 + \frac{2k}{n}\ln(\ln(n)) \frac{2k}{n}\ln(\ln(n)) ; \text{ ceza faktörü} \quad (6)$$

σ_e^2 = hata terimleri varyansı

k= sabit terimde dahil olmak üzere modeldeki parametre sayısı (k=p+q+1)

n= gözlem sayısı (Can,2009).

3.3.4. Tahmin başarısını ölçen kriterler

Modellerin tahmin başarılarının karşılaştırılmaları amacıyla çeşitli kriterler kullanılmaktadır. Bu kriterler;

- Hata Kareleri Toplamı (HKT)
- Ortalama Hata Kare (OHK)
- Hata Karelerinin Kök Ortalaması (KOHK)
- Ortalama Mutlak Hata (OMH)
- Ortalama Mutlak Yüzde Hata (OMYH)
- Ortalama Yüzde Hata (OYH)
- Kök Ortalama Yüzde Hata Kare (KOYHK)
- Theil's U- Eşitsizlik Katsayısı (Can,2009).

$$HKT = \sum e_t^2 = \sum (\hat{y}_t - y_t)^2 \quad (7)$$

$$OHK = \frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n-k} \quad (8)$$

$$KOHK = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n-k}} \quad (9)$$

$$OMH = \frac{\sum |\hat{y}_t - y_t|}{n-k} \quad (10)$$

$$OMYH = \sum \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right| \frac{100}{n} \quad (11)$$

$$OYH = \frac{1}{n-k} \sum \left(\frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right) \quad (12)$$

$$KOYHK = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum \left(\frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right)^2} \quad (13)$$

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (\hat{y}_t - y_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum y_t^2 + \frac{1}{n} \sum \hat{y}_t^2}} \quad (14)$$

n= durağan hale getirilen gözlem sayısı

k= modeldeki parametre sayısı

\hat{y}_t = modelden elde edilen tahmin değeri

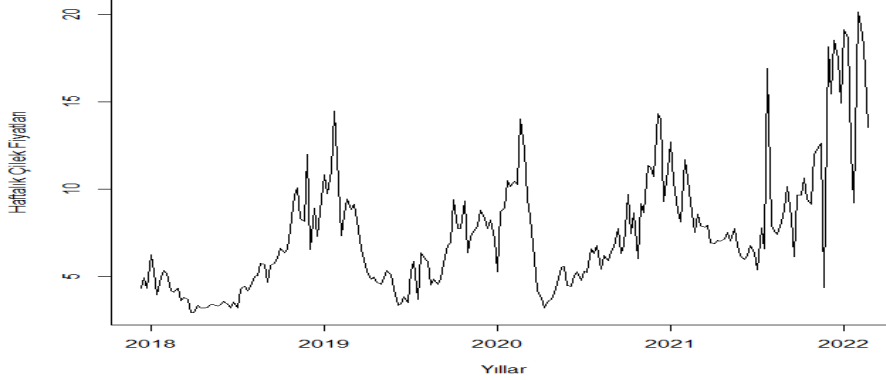
y_t = gözlem değeri (Can,2009).

3.4. Tahmin

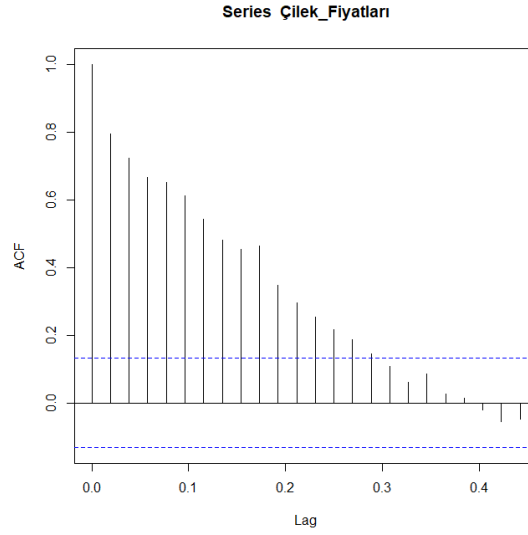
Model tanımlandıktan ve optimal parametre değerleri belirlendikten sonra model, serinin gelecekteki değerlerinin tahminini sağlar. Box-Jenkins modelleri, bir adım ileri tahminler sağlamada en etkilidir, ancak aynı zamanda çok adımlı tahminler de sağlayabilir (Nahmais & Olsen,2015).

4. BOX-JENKINS YÖNTEMİYLE HAFTALIK DEĞİŞEN ÇİLEK FİYATLARININ TAHMİN EDİLMESİ

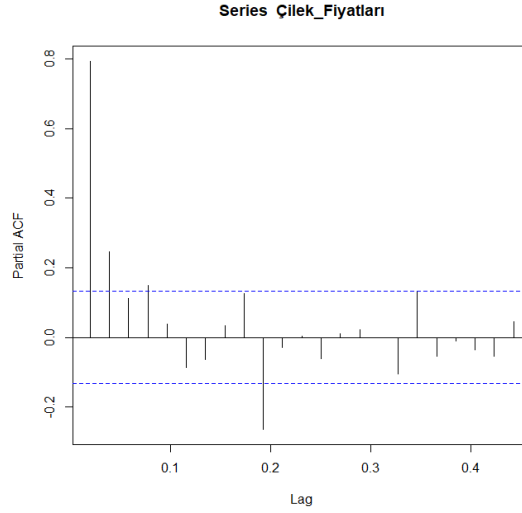
Çalışmada kullanılan çilek fiyatları, T.C Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Hal Kayıt Sistemi, Çilek Ürün Fiyatları bölümünden alınmıştır. Analiz edilen veriler 13 Aralık 2017-16 Şubat 2022 arasında olup 219 adet haftalık veri kullanılmıştır. (Çalışmada çilek fiyatlarının haftalık olarak alınma sebebi; çileğin doğası gereği hasat edildikten sonra uygun koşullarda saklansa dahi tazeliğini maksimum bir hafta korumasıdır. Ayrıca üretici ve tedarikçi firmalar satış planlarını haftalık olarak yapmaktadır.) Verilerin oluşturduğu zaman serisi yüksek durağanlık gösterdiği için Box-Jenkins (ARIMA) yönteminden yararlanarak tahmin çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çilek fiyatlarının haftalık değişim grafiğine bakıldığında düzenli yükselen ve veya düzenli azalan bir trend veya mevsimsellik içeren bir yapı göze çarpmamaktadır. Ancak zaman serisinin son haftalardaki gözlemlenen değerlerine bakıldığında bir miktar dalgalı yükseliş görülmektedir. Zaman serisinin Otokorelasyon (ACF) Korelogram grafiğine bakıldığında gecikmeler arasında azalarak ilerleyen otokorelasyon değerleri gözlenmektedir. Aşağıdaki korelogram grafiklerindeki kesikli çizgiler %95 güven aralığını göstermektedir. Otokorelasyonların anlamlılık düzeyleri açısından bakıldığında sözkonusu zaman serisinin otokorelasyonlarının anlamlılık düzeyleri on beşinci gecikmeye kadar azalarak devam etmektedir. Bu durum zaman serisinde otokorelasyon olduğunu göstermektedir. Kısmi otokorelasyonun korelogramına bakıldığında ise daha birinci gecikmenin otokorelasyon grafiğindeki eşit olduğu ve birinci gecikme değerinin otokorelasyonundan arındırılmış ikinci kısmi otokorelasyon değerinin yine anlamlı olduğu görülmektedir. Zaman serisinin mevcut durumunun durağan özelliğe sahip olduğu kesinleştirilememiştir.



Şekil 7. Haftalık Çilek Fiyatları Grafiği

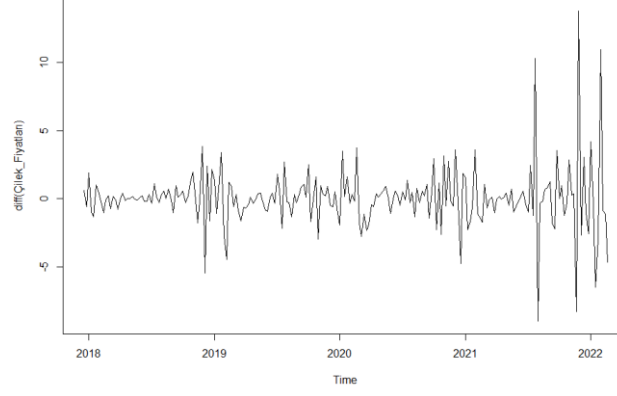


Şekil 8. 1 Haftalık Fiyatlarının Otokorelasyon Korelogramı

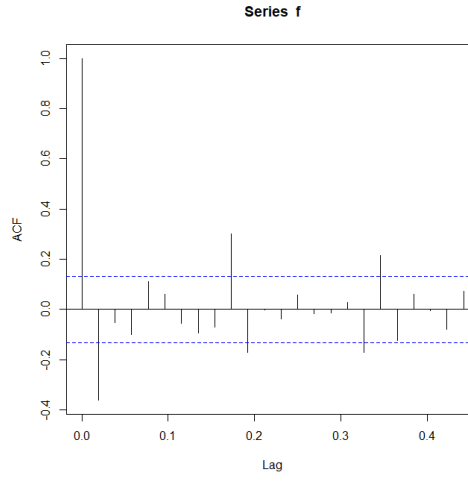


Şekil 9. 1 Haftalık Fiyatlarının Kısmi Otokorelasyon Korelogramı

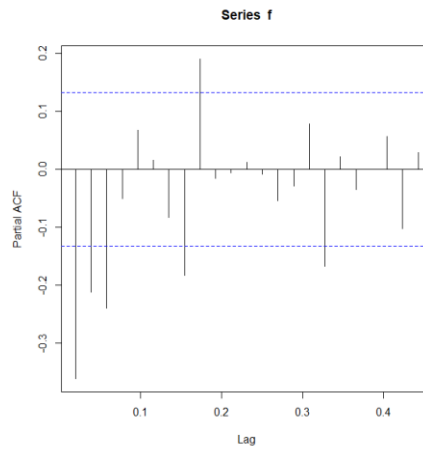
Zaman serisinin birinci farkının alınıp grafiği çizdirildiğinde durağanlık özelliğinin daha fazla arttığı gözlemlenmektedir. Birinci farkı alınmış zaman serisinin otokorelasyon korelogramına bakıldığında birinci gecikmedeki otokorelasyonun anlamlı olduğu ve daha sonra gecikmelerin otokorelasyonlarının belli bir patern takip etmeden pozitif ve negatif yönde değişerek seyrettiği görülmektedir. Yine birinci farkın alınmış zaman serisinin kısmi otokorelasyon korelogramına bakıldığında ilk üç gecikmenin anlamlı olduğu gözlenmektedir.



Şekil 10. Çilek Fiyatları Zaman Serisinin Birinci Farkı Alındıktan Sonra Grafiği



Şekil 11. Birinci Farkı Alındıktan Sonra Çilek Fiyatları Zaman Serisinin Otokorelasyon Korelogramı



Şekil 12. Birinci Farkı Alındıktan Sonra Çilek Fiyatları Zaman Serisinin Kısmi Otokorelasyon Korelogramı

Bu çalışmada geleceğe yönelik haftalık Türkiye’deki çilek fiyatlarını tahmin etmek için R programının “auto.arima” isimli fonksiyonu kullanılmıştır. “auto.arima” fonksiyonu söz konusu

zaman serisi modelinin mümkün olabilecek bütün ARIMA (p,d,q) modellerini kurarak en başarılı sonuç veren modeli kullanıcıya göstermektedir. R programının “auto.arima” isimli fonksiyonun zaman serisine uygulanması sonucunda verdiği rapor aşağıdadır.

ARIMA(0,1,0)	: 970.1199
ARIMA(0,1,0) with drift	: 972.079
ARIMA(0,1,1)	: 922.7315
ARIMA(0,1,1) with drift	: 924.0568
ARIMA(0,1,2)	: 923.8642
ARIMA(0,1,2) with drift	: 925.1283
ARIMA(0,1,3)	: 925.8419
ARIMA(0,1,3) with drift	: 927.1541
ARIMA(0,1,4)	: 924.9341
ARIMA(0,1,4) with drift	: 926.4035
ARIMA(0,1,5)	: 925.2673
ARIMA(0,1,5) with drift	: 926.5406
ARIMA(1,1,0)	: 941.2192
ARIMA(1,1,0) with drift	: 943.0642
ARIMA(1,1,1)	: 923.9703
ARIMA(1,1,1) with drift	: 925.2356
ARIMA(1,1,2)	: 925.9241
ARIMA(1,1,2) with drift	: 927.2115
ARIMA(1,1,3)	: 927.5368
ARIMA(1,1,3) with drift	: 928.801
ARIMA(1,1,4)	: 926.5724
ARIMA(1,1,4) with drift	: 928.0305
ARIMA(2,1,0)	: 932.637
ARIMA(2,1,0) with drift	: 934.3285
ARIMA(2,1,1)	: 925.5219
ARIMA(2,1,1) with drift	: 926.8385
ARIMA(2,1,2)	: 926.6395
ARIMA(2,1,2) with drift	: 928.0989
ARIMA(2,1,3)	: 916.1076
ARIMA(2,1,3) with drift	: 917.3751
ARIMA(3,1,0)	: 920.4355
ARIMA(3,1,0) with drift	: 921.7988
ARIMA(3,1,1)	: 922.4229
ARIMA(3,1,1) with drift	: 923.7833
ARIMA(3,1,2)	: 911.9276
ARIMA(3,1,2) with drift	: 913.601
ARIMA(4,1,0)	: 922.3326
ARIMA(4,1,0) with drift	: 923.678
ARIMA(4,1,1)	: Inf
ARIMA(4,1,1) with drift	: 923.4546
ARIMA(5,1,0)	: 922.3223
ARIMA(5,1,0) with drift	: 923.7946

Best model: ARIMA(3,1,2)

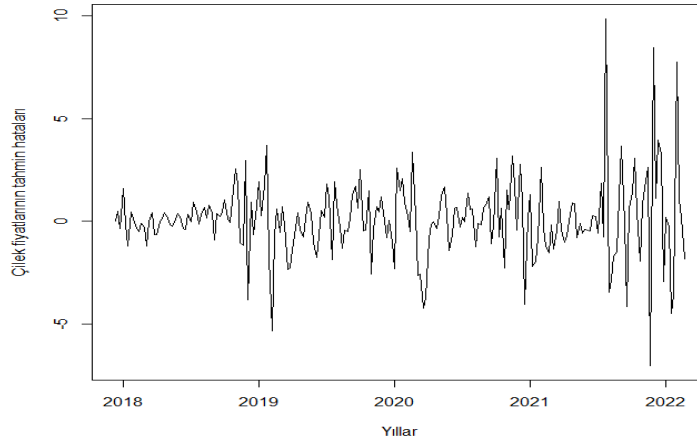
Series: Çilek Fiyatları
ARIMA(3,1,2)

Coefficients:

ar1	ar2	ar3	ma1	ma2
0.0197	-0.7987	-0.3984	-0.5125	0.882
s.e. 0.0947	0.0363	0.0686	0.0642	0.091

$\sigma^2 = 3.674$: log likelihood = -449.76
AIC=911.53 AICc=911.93 BIC=931.84

“auto.arima” fonksiyonu 21 farklı ARIMA (p,d,q) modeli kurup modellerin zaman serisine en iyi uyum gösteren modelin ARIMA (3,1,2) modeli olduğunu göstermiştir. Modelin hatalarının zaman serisi grafiği çizildiğinde ortalamanın yaklaşık sıfır olduğu ve hataların varyansının ilk haftalarda düşük seyrettiği ancak son haftalar geldiğinde önceki haftalara göre arttığı tespit edilmiştir.



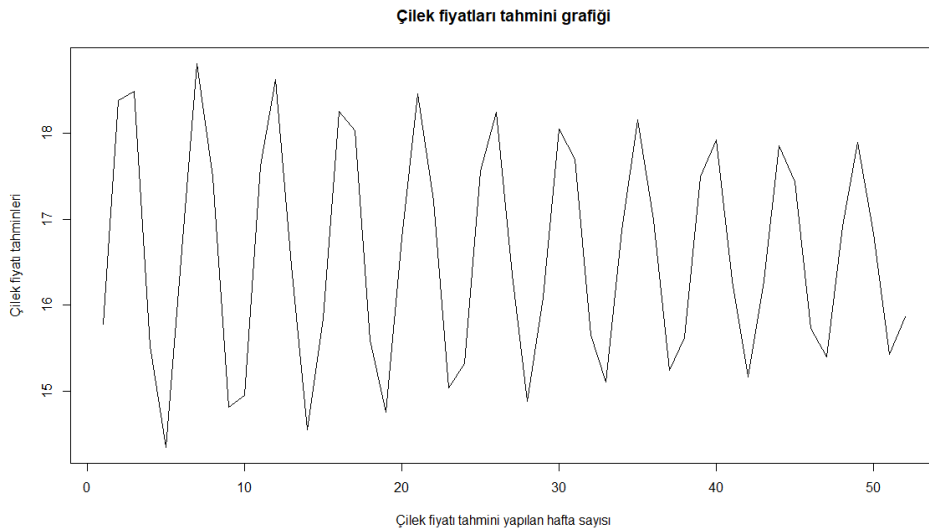
Şekil 13. Çilek Fiyatlarının Tahmin Hataları

ARIMA (3,1,2) model parametreleri kullanılarak kurulan tahmin modelinin hatalarının mutlak değerlerinin ortalaması (MAD), hataların karelerinin ortalaması (MSE) ve hataların gözlem değerlerini bölümünün mutlak değerlerinin ortalaması (MAPE) aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Tahmin Modeli Hata Tablosu

Performans testi	Performans testi değeri	Sonucun yorumlanması
MAD	1.235895	Zaman serisindeki haftalık çilek fiyatı verilerinin ortalaması 7.517443'dür. Ancak zaman serisinin son 20 haftasının fiyatları ortalaması 14.2745'dir. Bu durumda 1.235895 MAD değeri ortalama 1.23 TL sapma ile model oluşturulduğunu göstermektedir. Bu değer ilk haftalardaki fiyatlara göre biraz fazla kabul edilse de son haftalardaki değerler için büyük bir sapma olmadığı düşünülebilir.
MSE	3.573698	Hataların karelerinin ortalaması (MSE); her hangi bir dönemdeki hataların çoğunluğunun çok fazla bir şekilde gerçek değerden sapmadığını göstermektedir.
MAPE	%16.2204	MAPE değeri mutlak hataları hesaplandıkları dönemki gözlem değerlerine oranlayarak toplandığı bir değerdir. Yaklaşık %16 değeri, gözlemlerle hatalarının oranının ortalamasını göstermektedir.

ARIMA (3,1,2) modeliyle yapılan 52 haftalık çilek tahmini fiyatı grafiği aşağıdaki gibidir. Tahmin değerlerinin ortalaması $\bar{y} = 16.59279$, maksimum değeri $y_{max} = 18.81384$ ve minimum değeri $y_{min} = 14.34403$ 'dür. Tahmin değerleri salınım yaparak ileri dönemlerde ortalamaya yaklaşmaktadır. Çalışmada ARIMA modeli sonucu tahmin edilen 52 haftalık çilek fiyatları Şekil 14'te grafiksel olarak, Tablo 3'te de liste olarak gösterilmiştir.



Şekil 14. Çilek Fiyatları Tahmin Grafiği

Tablo 3. Çilek Fiyatları Tahmin Değerleri

HAFTALAR	ÇİLEK FİYATI TAHMİNİ (TL)
1. Hafta	15.8
2. Hafta	18.4
3. Hafta	18.5
4. Hafta	15.5
5. Hafta	14.3
6. Hafta	16.6
7. Hafta	18.8
8. Hafta	17.5
9. Hafta	14.8
10. Hafta	15.0
11. Hafta	17.6
12. Hafta	18.6
13. Hafta	16.5
14. Hafta	14.6
15. Hafta	15.8
16. Hafta	18.3
17. Hafta	18.0
18. Hafta	15.6
19. Hafta	14.8
20. Hafta	16.8
21. Hafta	18.5
22. Hafta	17.2
23. Hafta	15.0
24. Hafta	15.3
25. Hafta	17.6
26. Hafta	18.2
27. Hafta	16.4
28. Hafta	14.9
29. Hafta	16.1
30. Hafta	18.0
31. Hafta	17.7
32. Hafta	15.7
33. Hafta	15.1
34. Hafta	16.9
35. Hafta	18.2
36. Hafta	17.0
37. Hafta	15.2
38. Hafta	15.6
39. Hafta	17.5
40. Hafta	17.9
41. Hafta	16.2
42. Hafta	15.2
43. Hafta	16.3
44. Hafta	17.8
45. Hafta	17.4
46. Hafta	15.7
47. Hafta	15.4

48. Hafta	16.9
49. Hafta	17.9
50. Hafta	16.8
51. Hafta	15.4
52. Hafta	15.9

5. SONUÇ

Çilek dünyanın hemen her bölgesinde ve farklı iklim koşullarında yetişebilen bir meyve türü olsa da hasattan sonraki dönemde narin özellikte ve yol dayanımı az, saklama ve stoklama, açısından sıkıntılı olduğundan üreticiler için riskli ürün grubundadır. Bu risklere karşılık bölge ve mevsime göre de fiyatları farklılıklar göstermektedir. Tabii bu fiyatlar yalnızca üreticileri etkilememekte aynı zamanda tüketici ve çileği ham madde olarak kullanan gıda endüstrisi açısından da önemli hale gelmektedir.

Literatür çalışmasında da çoğu yayında Box-Jenkins modelinin meyve, sebze ve tahıl ürünü fiyat tahminlerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Araştırmada kullanılan haftalık fiyatların değişim grafiğine bakıldığında bir trend veya mevsimsellik içeren yapıdan bahsedilemediğinden dolayı Box-Jenkins modelinden yararlanılarak en başarılı sonuç veren modeller araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, Türkiye'deki çilek fiyat tahminlerini gerçekleştirmek için R programının "auto.arima" isimli fonksiyonu kullanılmıştır. R programının "auto.arima" isimli fonksiyonunun zaman serisine uygulanması sonucunda verdiği raporda 21 farklı ARIMA (p,d,q) modeli kurup modellerin zaman serisine en iyi uyum gösteren modelin ARIMA (3,1,2) modeli olduğunu göstermiştir. Modelin hatalarının zaman serisi grafiği çizildiğinde ortalamanın yaklaşık sıfır olduğu ve hataların varyansının ilk haftalarda düşük seyrettiği ancak son haftalar gelindiğinde önceki haftalara göre arttığı tespit edilmiştir. 52 haftalık tahminden elde edilen veriler şu şekildedir; Tahmin değerlerinin ortalaması ortalaması= 16.59279, maksimum değeri = 18.81384 ve minimum değeri= 14.34403'dür. Tahmin değerleri salınım yaparak ileri dönemlerde ortalamaya yaklaşmaktadır. Tahmin fiyatlarına bakıldığında çok geniş aralıklarda değişim göstermediği görülmüştür. Ayrıca tahmin fiyat grafiğine bakıldığında, sık aralıklarla çileğin minimum fiyatlara düştüğü ve bu sayede gıda endüstrisine avantajlar oluşturabileceği söylenebilir. Yani gıda endüstrisi çileğin fiyatını bu fiyat tahminlerine göre takip edip, minimum olduğu dönemlerde alım yapacak şekilde iş planlaması oluşturabilirler. Bu sayede gıda endüstrisi hammadde maliyetinden sağladığı kazançla kar miktarını artırma imkanı sağlayabilir.

Çilek gibi pazarda iyi rekabet eden, fakat saklama koşullarından dolayı hassas olan ürünlerin gelecek fiyat tahminleri sektörle ilgili planlamalara destek sağlayacaktır. Bir yandan da tüketicilerin arzına karşılık sağlanacak talepte ve kar amacı güden üretici ve gıda endüstrisine yararlı olacaktır. Gelecekte yapılacak araştırmalarda tek parametre olarak zaman serisi kullanılan Box-Jenkins yöntemine ilave olarak, çilek fiyatına etki eden maliyet parametreleri bağımsız değişken olarak alınıp, çoklu regresyon analizi ile zamandan bağımsız fiyat tahmini yapılabilir. Bu gelecekte yapılacak farklı fiyat tahmin çalışmalarına kıyaslama açısından ışık tutacaktır.

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

- Adanacıoğlu, H. & Yercan, M. (2012). An analysis of tomato prices at wholesale level in Turkey: an application of SARIMA model, *Custos E Agronegocio*, 8, 52-75.
- Akın, M. & Peral Eyduvan, S. (2017). Forecasting harvest area and production of strawberry using time series analyses, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34, 18-26.
- Aphinaya, M. Rathnayake, R. M. C. W. M. Sivakumar, S. & Amarakoon, A. M. C. (2016). *Price forecasting of mango using SARIMA model*, Proceedings of the International Conference on the Humanities and the Social Sciences, University of Peradeniya, 3-8, Sri Lanka.
- Boz, F. & Hüseyinli, N. (2019). Türkiye’de muz üretimi ve ithalatına yönelik bir tahmin modellemesi, *Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1, 63-82.
- Can, M. (2009). *İşletmelerde zaman serileri analizi ile tahmin* [Doktora Tezi]. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Üniversitesi, 252, İstanbul.
- Chaundhary, M. (2021). *AI Aided tools for fresh produce yield and price forecasting deep learning approaches* [Masters Thesis]. University of Waterloo, 100, Canada.
- Chaundhary, M. Gastli, M.S. Nassar, L. & Karray, F. (2021). *Deep learning approaches for forecasting strawberry yield and prices using satellite images and station-based soil parameters*. Proceeding of the AAAI 2021 Spring Symposium on Combining Machine Learning and Knowledge Engineering (AAAI-MAKE 2021), Stanford University, Palo Alto, California USA.
- Darekar, A. & Reddy, A. (2017). Forecasting of common paddy prices in India, *Journal of Rice Research*, 10, 71-75.
- Erdal, G. (2006). Tarımsal ürünlerde üretim – fiyat ilişkisinin koyck yaklaşımı ile analizi (domates örneği), *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23, 21-28.
- Erdoğan, M. A. (2021). *Türkiye’de şeftali fiyatlarının analizi ve fiyatların Box-Jenkins yöntemiyle tahmini* [Yüksek Lisans Tezi]. Uludağ Üniversitesi, 83, Bursa.
- Eşidir, K.A. & Metin, S. (2021). *Türkiye domates ihracatının yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak tahmin edilmesi*, 5th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference.
- Evans, E.A. & Nalampang, S. (2009). Forecasting price trends in the U.S. avocado, (*Persea americana* Mill.) Market, *Journal of Food Distribution Research*, 40, 37-46.
- FAOSTAT, (2022). Food and agriculture organization of the United Nation 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data> adresinden 2 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

- Garcia, W.J.P. Velázquez, R.V.O. Pacheco, I.T. & Jiménez, C.A.C. (2019). Price forecasting and span commercialization opportunities for Mexican agricultural products, *Agronomy*, 9, 826.
- Garde, Y.A. Chavda, R.R. Thorat, V.S. & Pisal, R.R. (2021). Forecasting of area, productivity and prices of mango in Navsari district, Gujarat, *Journal of Crop and Weed*, 17, 17-28.
- Güler, D. Uçar, K. & Engindeniz, S. (2021). Türkiye’de kayısı üretiminin ARIMA modeli ile tahmini, *Turkish Journal of Agricultural Economics*, 27, 55-62.
- Ibrahim, M. & Florkowski, W. J. (2007). *Forecasting U.S. shelled pecan prices: A cointegration approach*, The Southern Agricultural Economics Annual Meeting, 11, Alabama.
- Ibrahim, M. & Florkowski, W. J. (2009). *Forecasting price relationships among U.S tree nuts prices*, The Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, 17, Atlanta, Georgia.
- Intaramo, R. & Yimnak, K. (2018). The forecasting efficiency of fuzzy time series model based on fuzzy inverse for forecasting Thailand fruit price, *Pathumwan Academic Journal*, 8, 13-22.
- Jadhav, V. Reddy, B.V.C. & Gaddi, G. M. (2017). Application of ARIMA model for forecasting agricultural prices, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 981-992.
- Kaynar, O. & Taştan, S. (2009). Zaman serisi analizinde MLP yapay sinir ağları ve ARIMA modellerinin karşılaştırılması, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 33, 161-172.
- Kaya, E. (2019). *Zaman serileri analizinde Box-Jenkins yöntemi ile savunma sanayi verileri üzerine bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 168, Karaman.
- L. Maskey, M. B., Pathak, T. & K. Dara, S. (2019). Weather based strawberry yield forecasting at feild scale using statistical and machine learning models, *Atmosphere*, 10, 378.
- Li, G. Xu, S. & Li, Z. (2010). *Short-term price forecasting for agro-products using artificial neural networks*, International Conference on Agricultural Risk and Food Security, Agriculture and Agricultural Science Procedia, 1, 278-287.
- Liu, N. & Yu, J. (2019). *Raw Grain Price Forecasting with Regression Analysis*, International Conference on Modeling, Simulation and Big Data Analysis (MSBDA 2019), Advances in Computer Science Research, 91, 372-378.
- Mehmood, Q. Sial, M. H. Riaz M. & Shaheen, N. (2019). Forcasting the production of sugarcane crop of Pakistan for the year 2018-2030, using Box-Jenkins methodology, *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29, 1396-1401.
- Mishra, G.C. & Singh, A. (2013). A study on forecasting prices of groundnut oil in Delhi by ARIMA methodology and artificial neural networks, *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, V, 25-34.
- Nahmias, S. & Olsen, T.L. (2015). *Production and operations analysis*, Seventh Edition, Waveland Press, Inc.

- NİGEP, Nitelikli İş Gücü Geliştirme Projesi (2012). Ziraat Alanı Modern Çilek Yetiştirme Teknikleri Modülü. 37, Bişkek.
- Okwuchi, I. (2020). *Machine Learning based models for fresh produce yield and price forecasting for strawberry fruit* [Master Thesis]. University of Waterloo, 90, Canada.
- Özer, O. O. & Gül Yavuz, G. (2014). *Box-Jenkins modeli yardımıyla fındık fiyatının tahmini*, XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 1689-1694, Samsun.
- Rathod, S. Mishra, G. C. & Singh, K. H. (2017). Hybrid time series models for forecasting banana production in Karnataka State, India, *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 71, 193-200.
- Rueangrit, P. Jatuporn, C. Suvanvihok, V. & Wanaset, A. (2020). Forecasting production and export of Thailand's durian fruit: An Empirical Study Using the Box-Jenkins Approach, *Humanities and Sciences Letters*, 8, 430-437.
- Sukiyono, K. Arianti, N.N. Sumantri, B. Romdhon, M.M. Suryanty, M. & Adiprasetyo, T. (2021). A model selection for price forecasting of crude palm oil and fresh fruit bunch price forecasting, *Iraqi Journal of Agricultural Science*, 52, 479-490.
- Suppalakpanya, K. Nikhom, R. Booranawong, T. & Booranawong, A. (2019). Forecasting oil palm and crude palm oil data in Thailand using exponential time-series methods, *Engineering and Applied Science Research*, 46, 44-55.
- TEPGE, (2021). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü, Tarım ürünleri piyasa raporu, Çilek, Haziran 2021. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr> adresinden 1 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu (2022). <https://data.tuik.gov.tr/> adresinden 2 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Ullah, A. Khan, D. & Zheng, S. (2018). Forecasting of peach area and production wise econometric analysis, *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 28, 1121-1127.
- Uysal, O. Subaşı, O.S. & Yaşar, B. (2016). *Türkiye muz üretim ve ithalatının Box-Jenkins ve Delphi yöntemleri ile tahmini*, XII. Tarım Ekonomisi Konferansı, 1275-1286.
- Yıldız, M.C. & Atış, E. (2019). Türkiye organik kuru incir ihraç fiyatının ARMA yöntemi ile tahmini, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25, 141-147.
- Zhang, D. Chen, S. & Xia, Q. (2020). Forecasting agricultural commodity prices using model selection framework with time series features and forecast horizons, *IEEE Access*, 8, 28197-28209.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

ADANA'DA YEREL YÖNETİMLERİN ÇEVRESEL KARAR VERME SÜREÇLERİNDE KATILIMIN ROLÜ: SARIÇAM, CEYHAN VE KOZAN ÖRNEKLERİ

THE ROLE OF PARTICIPATION IN ENVIRONMENTAL DECISION-MAKING PROCESS
OF LOCAL GOVERNMENTS IN ADANA:
THE SAMPLES OF SARIÇAM, CEYHAN AND KOZAN

Nermin Merve YALÇINKAYA¹

Fadime BAĞ²

Muzaffer YÜCEL³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1083860>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
nbaykan@cu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
07.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
08.08.2022

Öz

Küresel perspektifte teknolojik boyutta yaşanan gelişmeler, sektörel hizmet ve uygulamaların ağırlıklı olarak teknolojik tabanlı yürütülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Türkiye'de çevresel karar verme mekanizmasında yerel yönetimlerin etkinliği ve bu çerçevede verimlilik, şeffaflık, yerelleşme, yönetilenlerin katılımı, temsil vb. kavramlar oldukça önemlidir. Yerel yönetimler, vatandaşa en yakın birimler olarak yerel halkın gereksinimlerini ve beklentilerini belirlemede ve hizmet üretiminde önemli role sahiptir. Bu kapsamda, yerelde yaşam kalitesinin yükselmesini hedefleyen planlama çalışmaları ve yerelde katılımı destekleyici politikalar; ülkemizde katılımı destekleyen bakış açısında olmalıdır. Yürütülen kamusal hizmetler kapsamındaki farklı mühendislik tabanlı uygulama çalışmalarında da görüş bildirimi vb. ile katılım desteklenebilir. Bu çalışmada, Türkiye'de yerel yönetimlerin çevresel karar verme mekanizmalarının etkinliğinin artırılması ve katılımcı süreçlerin desteklenmesi hedefiyle, halkın çevresel karar verme mekanizmalarına entegrasyonu üzerine kurumsal ve yasal çerçevede bir araştırma yürütülmüştür. Bu kapsamda, öncelikle ilgili mevzuat ve yerel planlama sistemi kuramsal çerçevede araştırılmıştır. Ardından, yerelde yürütülen teknolojik tabanlı hizmet süreçleri ve halkın hizmete bu kanalla erişebilirliği incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, katılımı artırılması ve etkinliğini sağlamak üzere belirli öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel katılım, çevre yönetimi, e-katılım, e-yönetişim, planlama ve mühendislik uygulamaları

Abstract

Technological developments offer an opportunity to carry out services and applications of several sectors based on technology. Concepts such as efficiency, transparency, decentralization, public participation, representation are quite important on the effectiveness of local governments in environmental decision-making in Turkey. Local governments, as the most accessible institution for citizens, have an important role in determining the needs and expectations of people and providing services. Planning studies and policies aiming to increase the quality of life at the local level in Turkey should be in a perspective that provides participation. Participation in engineering-based studies within the scope of public services can also be supported through channels like feedback. In this study, it is conducted a research in the institutional and legal framework on the integration of public into environmental decision-making mechanisms. The fundamental objective is to increase the efficiency of environmental decision-making mechanisms of local governments in Turkey and to support participatory processes. Firstly, the relevant legislation and local planning system were investigated theoretically. Then, the technology-based service processes carried out locally and the accessibility of the public to the service through this channel were examined. As a conclusion of the study is developing participation and ensuring its effectiveness.

Keywords: Environmental participation, environmental management, e-participation, e-governance, planning and engineering applications.

¹Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye.
nbaykan@cu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0860-1498.

²Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye.
fadimebag38@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-7292-9682.

³Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye.
myucel@cu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-7269-6719.

1.GİRİŞ

Çevre, doğal, kültürel ve sosyal bileşenlerin bir arada ve etkileşim içinde buldukları ortamı ifade etmektedir (Yücel, 2018). Canlı yaşamının başlangıcından bu yana yararlanılan çevresel kaynaklar üzerinde, tarihsel süreçte 19. Yüzyılın en önemli ekonomik ve teknolojik hareketi olan Sanayi Devrimi ardından hızı bir değişim süreci yaşanmaya başlanmıştır (Ashton, 1997; Allen, 2009; Yücel, 2011; Yalçınkaya, 2019).

Küresel perspektifte yoğunluğu zamanla artan farklı kültürel baskılar, özellikle doğal sistem bütünlüğünün zarar görmesine ve beraberinde çevresel dinamikler üzerinde çeşitli olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kentlerdeki endüstriyel gelişmelerden kaynaklanan istihdam olanakları ve kırsaldaki ekonomik, siyasal ve sosyolojik boyutta yaşanan çeşitli sorunlar, kente göç hareketini hızlandırmıştır (Yalçınkaya, 2019). Bu hareket, ulusal ve uluslararası birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar; motorlu araçlar ve araç sahipliğinde artış, kişi başı kaynak kullanımlarındaki artış, nüfus artışına bağlı olarak katı-sıvı atıkların ıslahında yaşanan bertaraf sorunları, fosil yakıt kullanımındaki artış, pestisit kullanımının yaygınlaşması, doğal/kırsal alanlarda aşırı otlatma kaynaklı tahribatlar ve kaçak avlanmalar, endemik türlerin yok edilmesi, yabancı yurtlu bitki kullanımının yaygınlaşması yangın ve erozyon oranlarının yükselmesi olarak sıralanabilir. Alan kullanımları ve taşıma kapasitelerinde kültürel baskıların artmasına neden olan bu sorunların yanı sıra, birçok kentte nüfus projeksiyonları ile öngörülemez bir nüfus artışı ve buna bağlı olarak düzensiz yapılaşma süreci görülmeye başlanmıştır. Böylece; su, toprak, hava vb. çevresel bileşenlerde kirliliğin artması, radyoaktif kirlenme, gürültü kirliliği, ışık kirliliği, biyoçeşitlilik tahribatı, habitat ve biyotop yapılarındaki bozunumlar, sulak alanların ve göllerin kurutulması gibi olumsuz sonuçlar farklı coğrafyalarda ciddi bir düzeye yükselmiştir (Yücel, 2010; Bağ, 2017).

Çevre sorunlarının bölgesel ve ülkesel sınırlarını aşması, yaşanabilir bir dünya hedefleyen birçok kurum/kuruluş ve ülkenin çevre sorunları ile mücadele konusunda işbirliğini gerektirmektedir, 1970'li yıllarda artan çevresel farkındalığın etkisiyle, ilgili küresel organizasyonlar düzenlenmeye ve yeni yaklaşımlar benimsenmeye başlanmıştır. Bu kapsamda yer alan “çevre koruma” yaklaşımı, çevre sorunlar mücadele çalışmalarının temelinde yer almaktadır. Çevre koruma, doğal çevrenin sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla çevreye zarar verebilecek atık ve artıkların alıcı ortam olan çevreye verilmesinin minimum düzeye indirilmesi; mevcut kirlilik ve bozulmaların da giderilmesi anlamına gelmektedir. Yücel (2018) ise çevre korumayı; sürdürülebilir kalkınma anlayışı doğrultusunda koruma-kullanma dengesinin gözetildiği önlemlerin alındığı çalışmalar olarak tanımlamaktadır. Çevre koruma kapsamında yer alan konuları; biyolojik ve ekolojik çerçevede doğa koruma, peyzaj planlama, rekreasyonel planlama ve yeşil alan planlaması olarak tanımlamaktadır. Teknolojik ve hijyenik çerçevede ise çevre koruma; havanın temizliği, gürültüden korunma, iklim düzenlemesi, ışıklardan korunma, toprağın korunması, suların korunması, katı atıkların yok edilmesi ve zararlı kimyasal maddelerden korunmaktır (Yücel, 2018).

Çevrenin korunması hedefi taşıyan ve söz konusu sorunların çözümüne yönelik çalışmaların, yasal sınırlayıcılar ve bilimsel bulgular çerçevesinde uygun tekniklerden yararlanılarak planlama ve mühendislik çalışmaları ile yürütülmesi optimal sonuçlara ulaşmada etkinlik sağlar. İlgili karar verme mekanizması ve uygulama süreçlerinde, merkezi yönetimler ile birlikte yerel yönetimler de yetki, görev ve sorumlulukları ile etkin bir şekilde hizmet etme yükümlülüğü taşır. Çevre bileşenlerinde meydana gelen tahribatların, yerelden genele yayıldığı düşünüldüğünde, bu sorunların çözümüne ya da önlenmesine yönelik planlama ve uygulama süreçlerinde yerel otoritenin rolü ortaya çıkmaktadır. Çevre kirliliğinin idari sınırlar ile ilişkilendirilemeyen niteliği gereği, çevrenin korunması ve iyileştirilmesi konusu sorunun kaynağında çözülmesini öncelikli kılmaktadır. Bu noktada yerel yönetimlere çok önemli görev ve sorumluluklar düşmektedir.

Yürürlükteki mevzuat irdelendiğinde, gerek 2872 sayılı Çevre Kanunu ve bu Kanunun uygulanmasına yönelik çıkarılan Yönetmeliklerde; gerekse 5393 sayılı Belediye Kanunu ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu çerçevesinde özellikle belediyelere çevre sorunlarının çözümüne yönelik önemli yetki, görev ve sorumlulukların yüklendiği görülmektedir (Çiftçioğlu & Aydın, 2019).

Son yıllarda küresel perspektifte ciddi bir sorun haline gelen COVID-19 küresel salgını gibi konular, her ülkenin kendi yasal ve yönetsel çerçevesinde aldığı önlemlerin yanı sıra; hijyen önceliği, sosyal mesafe ve bireysel izolasyon her ülke vatandaşının uyması gereken bir sorumluluk haline gelmiştir. Salgının yayılımının azaltılması amacıyla, farklı önlemler alınmış ve kısıtlamalar uygulanmıştır. Sosyal hayata dair gereksinimlerin karşılanması ve farklı sektörlerle ilişkin uygulamalar mümkün olduğunca bireysel, telefon ya da internet tabanlı sağlanmaya başlanmıştır (Yalçınkaya, 2021). Vatandaşların evlerinde bulunmaları ile birlikte karar verme süreçlerinde internet tabanlı toplantılar önem kazanmış ve uzaktan çalışmada modellerine geçilmiştir. Bu kapsamda, görevlerin çoğu internet üzerinden yürütülmeye çalışılmıştır. Salgının etkisi ile de yerel yönetimlerde karar verme mekanizmasında internet yolu ile katılımın rolü ve önemi artmıştır. Kalkınma süreçlerinde yerel ve çevresel kalkınmanın birlikte yürütülmesi gerekliliğinin öneminden hareketle de bu çalışmanın yapılması zorunluluk haline gelmiştir. Yerel yönetimlerin o bölge coğrafyasını en iyi bilen ve anında müdahale edebilme şansına sahip birimler olmaları sebebiyle çevreye karşı koruma kullanım dengesini sürdürülebilir bir şekilde sağlama gibi görevleri bulunmaktadır. Bu durum e-devlet ve e-katılım hizmetlerinin vatandaşlar için ne derece önemli olduğunu uygulamalı şekilde görme fırsatı sunmuştur. Böylelikle, çağın koşullarına uygun olarak vatandaşların ilgili kamusal konularda çevrimiçi olarak tartışabilmeleri, aktif katılım sergileyebilmeleri ve yetkililerden anında geri bildirim alabilmeleri ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Gündoğdu, 2021).

Bu çalışmada, yerel yönetimlerin çevresel karar verme süreçlerinde katılımın rolü Sarıçam, Ceyhan ve Kozan ilçelerinde irdelenmeye çalışılmıştır. Çevresel karar vermede problemin yaşandığı yörede problemin çözümünün yerelde daha erken yapılabileceğinden hareketle; çevre sorunları ile mücadelede katılımcı karar verme süreçleri ve çevresel karar verme mekanizmasında (planlama ve mühendislik uygulamaları tabanında) katılımın önemine ilişkin çalışmanın bilimsel ve kuramsal çerçevesi kapsamında hukuki ve bilimsel çerçevede literatür taraması yapılarak yerel yönetimlerde katılımcılık kavramı incelenmiştir. Ardından, çalışmada örnek olarak seçilen yerleşimlere yönelik yerel yönetimin çevre tabanlı hizmetleri ve vatandaş-yerel otorite arasındaki şeffaf ve erişilebilir katılım kanalları e-yönetişim düşüncesi ile incelenmiştir. Bunun sonucunda konu ile bağlantılı olarak, çevre tabanlı planlama ve mühendislik hizmetlerinin etkin yürütülmesinde gözlenen yetersizliklere yer verilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde ise, çevresel karar verme mekanizmalarının yerel ölçekte geliştirilmesinin ve bu süreçlerde vatandaşın etkin katılımının önemine vurgu yapılarak, belirli öneriler geliştirilmiştir.

1.1. Çalışmanın Bilimsel Çerçevesi; Çevre Sorunları ile Mücadelede Katılımcı Karar Verme Süreçleri ve Yerel Yönetimlerde Katılımcılık

Sanayi Devriminin ardından çevresel bileşenler üzerindeki kültürel baskıların önlenmesi ya da azaltılmasına yönelik sistematik önlemlerin alınmaması nedeniyle, dünya üzerinde farklı bölgelerde dikkat çeken büyük olaylar yaşanmıştır. 1952 yılında İngiltere’de yaşanan Büyük Sis Olayı, bu konudaki ilk örnekler arasında yer almaktadır. 1970’li yıllarda artan çevresel farkındalığın etkisiyle, bu konuda uluslararası ölçekte çalışmalar yapılmaya ve organizasyonlar düzenlenmeye başlanmıştır. Düzenlenen ilk organizasyonlardan biri Tabiatın Korunması Hakkında Avrupa Konferansı (1970 yılı) olarak gösterilebilir. 1972 yılında ise, Birleşmiş Milletler tarafından 5-16 Haziran 1972 tarihleri arasında İsveç’in başkenti Stockholm’da Türkiye

dahil 113 ülke devlet ve hükümet temsilcilerinin katılımıyla “Birinci Dünya Çevre Konferansı” düzenlenmiştir. Konferans Sonuç Bildirgesi’nde çevre sorunlarının uluslararası iş birliği ile çözümlenebileceği ve çevre konusu dikkate alınmadan ekonomik kalkınmanın mümkün olmayacağı vurgulanmıştır (Roberts, 1976; Hardoy ve ark., 1992; Gardner & Stern, 1996; Yücel, 2003; Say & Yücel, 2005; Yalçınkaya, 2019).

Birinci Dünya Çevre Konferansı’nın 20. yılında, sürece yönelik bir değerlendirme yapmak ve yeni politikalar üretmek üzere 3-14 Haziran 1992 tarihleri arasında Brezilya’nın başkenti Rio De Janeiro’da 175 ülkenin devlet ve hükümet başkanı ve temsilcilerinin katılımı ile “İkinci Dünya Çevre Konferansı” düzenlenmiştir. Konferansta Rio Deklerasyonu’nda öneri niteliğinde 27 ilke belirlenmiştir. Bu çerçevede yer alan İlke 10, İlke 20 ve İlke 22; çevresel farkındalık ve katılım süreçlerini kapsamaktadır:

1. (İlke 10) “Bilgi Edinme ve Katılım” başlığı altında; çevre konuları, bireylerin belirli düzeydeki katılımları ile ele alınmaktadır.
2. (İlke 20) “Kadınların Katılımı” başlığı altında; kadınların çevrenin yönetimi ve gelişimi konularında önemli bir role sahip olmaları nedeniyle, sürdürülebilir kalkınmayı başarmada kadın katılımının gerekliliği ifade edilmiştir.
3. (İlke 22) “Yerel Halka Destek” başlığı altında ise yerel halk ve diğer toplulukların bilgi birikimlerinin ilgili bölgelerin kalkınma ve çevre yönetimi süreçlerinde önemi belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, sürdürülebilir kalkınma adına devletlerin etkin katılım sağlamalarının önemli olduğu, kimliklerini ve kültürlerini desteklemesi ve tanınması konularında ilkeler belirlenmiştir (Yücel, 1999).

Katılımlı karar verme süreçlerinin 1992 Rio Konferansı öncesinde de farklı ülkelerde gerçekleştirildiği bilinmektedir. Ancak Gündem 21 ve Yerel Gündem 21 projelerinin başlatıldığı bu Konferans, küresel perspektifte katılımlı süreçlerin kurumsallaşması açısından oldukça önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009). Ulusal/yerel yaşam kalitesini artırmada sorumluluk, eşitlik, özgürlük ve dayanışmaya dayandırılan Gündem 21, halkın yerel yönetime doğrudan katılımı ve doğrudan kontrol şansını artıracak bir araç özelliği taşımaktadır. Bu nedenle Gündem 21, “idare merkezli değil toplum merkezli” olup; kamu, özel ve sivil sektörlerin birlikteliğinde katılımcı bir yönetim anlayışının altını çizmiştir (Görün, 2006). Bu kapsamda ayrıca, karar verme sürecinde çevre ve kalkınmanın bütünleştirilmesi çerçevesinde çevre yönetiminin ne derece önemli olduğu vurgusu yapılmıştır (Yücel, 1999).

Çevre yönetimi, Türkiye’de 9.8.1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu uyarınca, idarî, teknik, hukukî, politik, ekonomik, sosyal ve kültürel araçları kullanarak doğal ve yapay çevre unsurlarının sürdürülebilir kullanımını ve gelişmesini sağlamak üzere yerel, bölgesel, ulusal ve küresel düzeyde belirlenen politika ve stratejilerin uygulanması olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede; Çevre konusunda koruma-önleme-kirliliklerin giderilmesi konularının çözümünde; vatandaşlar, ilgili bakanlıklar, sivil toplum kuruluşları (STK), meslek odaları ve üniversiteler gibi kamu kurum veya kuruluşları ortak hareket ederek çözüm arayışında olmalıdırlar. Bu çözümlerin geliştirilmesinde katılımın sağlanması önem taşımaktadır. Avrupa Birliği katılım müzakerelerinde de konunun önemine değinilmiş çevrenin korunmasında ortak hareket etme gerekliliği üzerinde durulmuştur. 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanunu kapsamında çevreye ilişkin bilgilere ulaşma, zarar veren faaliyetleri yetkililere bildirme ve çevreyle ilgili bilgilere ulaşabilme hakkına da sahip olduğu ifade edilebilir. Ancak Bimay (2021), Kanun’un uygulama aşamasında yaşanan sorunlar ve uluslararası sözleşmelere uygun olarak sistematik olarak güncellenmemesi nedeniyle çevre korumada etkinliğinin azaldığını belirtmektedir.

Çevre yönetimi; hem çevrenin hem de çevresel dinamikler üzerinde kültürel baskılara ve tahribata neden olan insan faaliyetlerinin yönetimini kapsamaması nedeniyle sürdürülebilirlik adına

oldukça önemlidir. Çevre yönetiminde katılımcılığı destekleyen; vatandaşın bilgi edinme, başvuru vb. haklarını kullanmasına yönelik yasal düzenlemeler mevcuttur. Bu doğrultuda, kentsel ve kırsal yerleşimlerin yerel yönetimlerinin çevresel konularda halkın katılımını ne derece sürece dahil ettikleri, sürecin başarısı ve çıktıları açısından oldukça önemlidir (Toprak, 2012; Boyraz, 2022).

Çevrenin korunması ve geliştirilmesi, kirliliklerin yerinde önlenmesi gibi çevrenin yönetimi konularında katılım önemlidir. İlgili bölgeyi tanıyan halkın katılımı, potansiyel ya da mevcut çevresel sorunların neden ve çözümü noktasında etkinlik sağlayabilir. İl özel yönetimleri ve mahalle yönetimlerine kıyasla, belediyeler çevre yönetimi açısından daha etkin ve yetki sahibidir. Bu çerçevede, kentlinin gereksinim ve beklentilerinin karşılanmasında fazla sayıda sorumlulukla karşı karşıya olmakla beraber, yaşanan bir çevresel sorunun çözümünde de merkezi yönetime kıyasla daha kısa sürede müdahale etme fırsatına sahiptir (Zengin, 2009).

Anayasanın 127. Maddesi'nde Mahalli İdareler başlığı altında yerel yönetimler ile ilgili bilgilere aşağıdaki gibi değinilmiştir:

Madde 127 – Mahalli idareler; il, belediye veya köy halkının mahalli müşterek ihtiyaçlarını karşılamak üzere kuruluş esasları kanunla belirtilen ve karar organları, gene kanunda gösterilen, seçmenler tarafından seçilerek oluşturulan kamu tüzelkişileridir. Mahalli idarelerin kuruluş ve görevleri ile yetkileri, yerinden yönetim ilkesine uygun olarak kanunla düzenlenir. (Değişik fıkra: 23/7/1995-4121/12 md.) Mahalli idarelerin seçimleri, 67 nci maddedeki esaslara göre beş yılda bir yapılır. (Mülga ikinci cümle: 21/1/2017-6771/16 md.) Kanun, büyük yerleşim merkezleri için özel yönetim biçimleri getirebilir. Mahalli idarelerin seçilmiş organlarının, organlık sıfatını kazanmalarına ilişkin itirazların çözümü ve kaybetmeleri, konusundaki denetim yargı yolu ile olur. Ancak, görevleri ile ilgili bir suç sebebi ile hakkında soruşturma veya kovuşturma açılan mahalli idare organları veya bu organların üyelerini, İçişleri Bakanı, geçici bir tedbir olarak, kesin hükme kadar uzaklaştırabilir. Merkezi idare, mahalli idareler üzerinde, mahalli hizmetlerin idarenin bütünlüğü ilkesine uygun şekilde yürütülmesi, kamu görevlerinde birliğin sağlanması, toplum yararının korunması ve mahalli ihtiyaçların gereği gibi karşılanması amacıyla, kanunda belirtilen esas ve usuller dairesinde idari vesayet yetkisine sahiptir. Mahalli idarelerin belirli kamu hizmetlerinin görülmesi amacı ile, kendi aralarında Cumhurbaşkanının izni ile birlik kurmaları, görevleri, yetkileri, maliye ve kolluk işleri ve merkezi idare ile karşılıklı bağ ve ilgileri kanunla düzenlenir. Bu idarelere, görevleri ile orantılı gelir kaynakları sağlanır.

Yerel yönetimler, çalışma ölçeği yönünden vatandaşa en yakın birimler olarak yerel halkın gereksinimlerini ve beklentilerini belirlemede ve hizmet üretiminde önemli bir role sahiptir. Ayrıca yerel yönetimler, ülkede demokrasinin yerleşmesi ve sağlam temellere oturmasında da yönlendirici etkisi olan birimlerdir. Bu durumun gerekçesi olarak, gerçek anlamda yerelde demokrasi sağlanmadan uluslarda sağlanmasının mümkün olmaması gösterilebilir. Bu nedenle, ilgili yerel birimler, halkın sorumluluk duygusunu ve siyasal bilinci geliştirmekte, demokratik rejimin sağlıklı işleminde önemli rol oynamaktadırlar (Görün, 2006; Hacıköylü, 2013).

Yerel yönetimler, bağlı buldukları bölgelerde kamu yönetimi sisteminin yönetimden sorumlu temel birimlerindedir. Temizlik, kanalizasyon, ulaşım ve planlama hizmetlerinin yanı sıra eğitim ve sağlık hizmetleri, yeşil alanların korunması, geliştirilmesi ve yeni alanların planlanması gibi çeşitli görevleri de bulunmaktadır.

Katılımcılığa ilişkin tartışmaların odak noktasında yer alan yerel yönetimler, kimi zaman ise, katılımcılıktan uzak bir yaklaşımla karar verme süreçlerini yürüttüğü örnekler ile de bu tartışmalara konu olabilmektedir. Buna karşılık, karar verme mekanizmasına katılım ile ilgili

kavramlara yönelik farkındalık günümüzde önem kazandığı, özellikle gelişmiş ülkelerdeki uygulama alanlarının sayısı ve kapsam yönünden arttığı ifade edilebilir.

Katılım eğiliminin artmasında, küreselleşme süreci kapsamında bilgi ve iletişim teknolojisindeki gelişmelerin etkisi oldukça fazladır. Bu kapsamda yeni bir yaklaşım olarak yönetim kavramı; yöneten ile yönetilenlerin yönetim sürecine ilişkin kararları birlikte belirlemeleri esasına dayanır. Yerel yönetim ise, bu yeni yönetim anlayışının en belirgin unsuru da katılım olarak ortaya çıkmaktadır (Hacıköylü, 2013).

Üst ölçekli politika belgeleri kapsamında On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) incelendiğinde, çevre yönetiminin sağlanması ve çevresel katılımın yerel perspektif boyutu kazanması amacıyla, Plan'da demokratikleşme ve iyi yönetim kavramları üzerinde durulduğu görülmektedir. Konu ile ilgili olarak, Plan dönemi temel hedefleri arasında;

1. Vatandaş memnuniyetini esas alan, şeffaf, hesap verebilir, etkin, katılımcı bir yaklaşımla çalışan ve toplumsal potansiyeli etkinleştiren demokratik bir yönetim anlayışıyla kamuda demokratik müessese ve usullerin güçlendirilmesi,
2. Kamu hizmetlerinin vatandaşa en yakın idari birimler eliyle yürütülmesi ve vatandaş memnuniyetinin üst düzeye çıkarılması amacıyla yerel yönetimlerin hizmet sunma kapasitesinin artırılması,
3. Gelişen iletişim teknolojilerinin, kaynakların ekonomik ve etkin kullanımını desteklemek amacıyla, kamusal yetki ve görevi olan kurumlar açısından hesap verme sorumluluğunun ve saydamlığın geliştirilmesine katkı sağlaması,
4. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin karar verme, uygulama ve denetleme süreçlerine vatandaş katılımının artırılmasını desteklemesi yer almaktadır.

Plan döneminde iletişim teknolojilerinin etkili bir şekilde kullanılması suretiyle kamuda hesap verebilirlik, şeffaflık ve katılımcılığın güçlendirileceği belirtilmiştir (On Birinci Kalkınma Planı, 2019).

1.2. Çalışmanın Kuramsal Çerçevesi

Çalışmanın kuramsal çerçevesini oluşturan araştırma konusu ve araştırma soruları aşağıda verilmiştir:

Araştırma konusu: Yerel yönetimlerin çevresel karar verme mekanizmasında etkin katılımcılığın sağlanması gerekliliğinden yola çıkılarak, Adana ili Sarıçam, Kozan ve Ceyhan ilçelerinin tutum ve uygulamalarının araştırılması.

Araştırma sorusu 1: Çevre yönetimi kapsamında etkin katılımcılığın önemini ifade eden temel faktörler nelerdir?

Araştırma sorusu 2: Çalışma alanı olarak seçilen ilçelerin çevresel karar verme mekanizmasında katılımcılığı güçlendirecek altyapı hizmetleri nelerdir?

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

Çalışmanın ana materyalini Adana'nın üç büyük kenti Sarıçam, Ceyhan ve Kozan oluşturmaktadır. Sarıçam'ın Adana'nın dört merkez ilçesinden biri olması; Ceyhan ve Kozan'ın

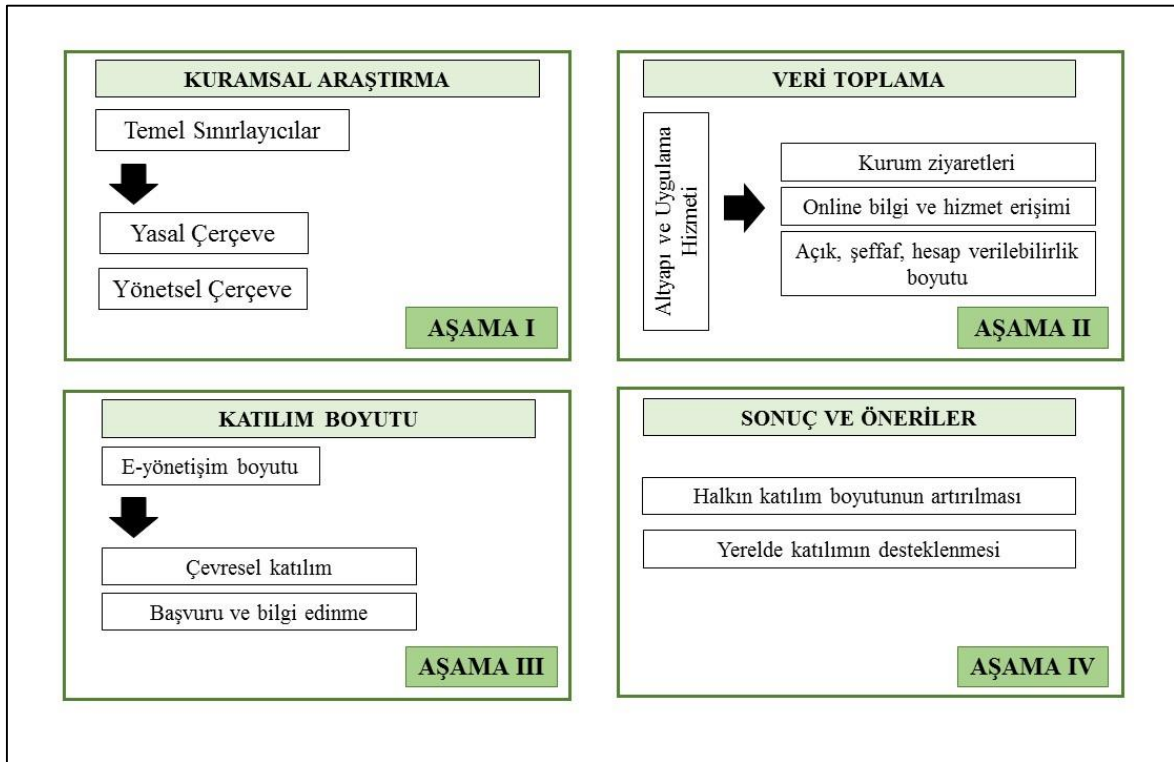
ise, Adana'nın merkez ilçeleri dışında kalan nüfusu en yüksek iki ilçesi olması (TUIK, 2022) bu kentlerin araştırma sürecine alınmasının gerekçesini oluşturmaktadır. 2021 yılı Türkiye nüfus verilerine göre, Sarıçam'ın nüfusu 208.227, Ceyhan'ın nüfusu 159.955, Kozan'ın ise 132.320 kişidir (TUIK, 2022). Yönetişim ve e-yönetişim uygulamaları kapsamında, çalışma alanı olarak seçilen ilçelerin kurumsal web siteleri ve "bilgi edinme başvurusu" sonucu elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın diğer materyalleri olarak aşağıda sunulan yasal mevzuat, sınırlayıcı bir çerçeve sunmaktadır:

- 10/7/2004 tarih ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu,
- 12/11/2012 tarih ve 6360 sayılı On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnemelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun,
- 3/7/2005 tarih ve 5393 sayılı Belediye Kanunu,
- 9/10/2003 tarih ve 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanunu

2.2. Metod

Araştırma sürecinde izlenen akış şeması kapsamında, genel olarak dört temel aşama yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmanın Akış Şeması

İlk aşamada, yerel yönetimlerde karar verme mekanizmasına halkın katılımı kuramsal çerçevede araştırılmıştır. Türkiye’de yerel yönetimlerin tabi olduğu ilgili mevzuat çevresel katılım açısından incelenmiştir.

İkinci aşamada, yerelde altyapı ve uygulama hizmetinin boyutlarını netleştirebilmek amacıyla mevcut durum analizi yapılmıştır. Bu kapsamda kurum ziyaretleri ve bire bir görüşmeler yürütülmüş, ayrıca online bilgi ve hizmet kanalları incelenmiştir. Kurumsal web sayfalarında

katılımın gerçekleştirilebilmesi için gerekli unsurların bulunup bulunmadığını değerlendirilmesi amacıyla kriterler oluşturularak içerik analizi yapılmıştır. Nicel bir değerlendirme tekniği yürütülen bu aşamada, web sayfalarının inceleme aracı olarak seçilme nedeni, e-yönetişim uygulamalarının erişimi en kolay, daha geniş kitlelere ulaşabilen ve en bilinen aracı olmasıdır.

Büyükşehir belediyelerinin kurumsal web sayfaları, e-katılıma esas e-yönetişim uygulamalarının değerlendirilmesine yönelik belirlenen kriterler; (i) Web Sitesi Bilgi ve Erişilebilirlik Değerlendirmesi, (ii) Vatandaş ile İletişim, (iii) Açıklık, Şeffaflık, Hesap Verebilirlik, (iv) Çevresel Açından ‘Katılım’ (Belediyeden Vatandaşa İletişim, Vatandaştan Belediyeye İletişim) dir. Web sayfaları incelenirken kullanılan kriterlerden mevcut olanları için e-yönetişimin Adana Büyükşehir Belediyesi ve Bağlı Üç İlçesinde Çevresel Açından ‘Katılımcılık’ Perspektifinde Değerlendirilmesi Tablosunda; “1”, mevcut değilse “0” olarak işlenmiştir. Kriterler doğrudan web sayfasında bulunmuyorsa, ana sayfada veya bulunması gereken menülerin içinde bulunmuyorsa, başka bir web sayfasına yönlendiriliyorsa, site içi arama yapılarak ya da belediye sosyal medya hesaplarından erişilebiliyorsa tabloda bu durum “0,5” olarak ifade edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında katılım boyutu ilçeler özelinde çevresel katılım ve bilgi edinme yönünden değerlendirilmiştir. Yarı yapılandırılmış görüşmeler ve dilekçeler ile elde edilen; çevresel açıdan katılımcılık yerel yönetimlerde en çok hangi konularda gerçekleştirilmiş sorunsalı çerçevesinde bilgiler incelenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise, halkın katılım boyutunun desteklenmesi ve katılımcılığın geliştirilmesi amacıyla belirli öneriler geliştirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.2. Yerelde Çevresel Katılımcılık Kapsamındaki Yasal ve Yönetimsel Çerçeve

Yerel yönetimlerde çevre sorunlarının katılımcı yaklaşım ile çözümünü destekleyici, konu ile ilgili yerel yönetimlere yetki ve sorumluluk veren ilgili düzenlemeler içeren farklı kanunlar bulunmaktadır. 10/7/2004 tarih ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu kapsamında belirtilen konularda yerel yönetimler çevresel karar verme süreçlerinde yetkili kılınmıştır. Kanun’un 7/i maddesinde büyükşehir belediyelerinin yetki alanları ve sorumlulukları belirtilmektedir. Anılan madde hükmüne göre; çevrenin sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde korunmasını sağlamak ve bunu sağlarken yerine getirilmesi gerekli görevleri uygulama konularına yer verilmiştir.

Büyükşehir belediyelerinin, çevrenin korunması ve yönetiminde çevresel bileşenler üzerinde etkili olan konularda sürdürülebilirlik ve kamu yararı amacı taşıyan faaliyetlerin yürütülmesinde öncelikli yetkili ve sorumlu birimlerdir, çıkarımı kolaylıkla bu maddede yapılabilir..

Kanun’un 7/m maddesinde, büyükşehir belediyelerini toplumun sosyal altyapısını geliştirmek amacıyla kültürel, sosyal ve spor alanlarında teşvik eden ve yönlendiren hükümler yer almaktadır. Kanun’un 7/o maddesinde; kentsel doku bileşenlerini büyükşehir belediyelerinin sorumluluğu çerçevesine dahil ederek aslına uygun olarak korunması veya yeniden inşa edilmesi çalışmaları açıklanmıştır. Kanun’un 7/u maddesinde yer verilen il ölçeğinde yürütülen doğal afet planlama çalışmaları kapsamında büyükşehir belediyesinin yetki ve sorumlulukları tanımlanmıştır. Kanun maddesinin bu konudaki tanımlayıcı kapsamından yola çıkılarak il ölçeğindeki çevresel konular arasında yer alan afet planlama ve strateji geliştirme kapsamında büyükşehir belediyelerinin söz sahibi merci olduğu görülmektedir.

Aynı Kanun'un 15. Maddesinde, çevre ve sağlık komisyonu zorunluluğu konusuna yer verilerek; Komisyon raporlarının alenî olduğu, çeşitli kanallarla halka duyurulması gerekliliği ve talep edenlere büyükşehir belediye meclisi tarafından belirlenen bir bedel karşılığında verilebileceğine dair hükümler yer almaktadır.

12/11/2012 tarih ve 6360 sayılı On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun kapsamında belirtilen konularda büyükşehir belediyeleri belirli çevresel konularda yetkili kılınmıştır. Kanun'un 4/a maddesinde; Büyükşehir belediyesi, "*Sınırları il mülki sınırı olan ve sınırları içerisindeki ilçe belediyeleri arasında koordinasyonu sağlayan; idarî ve malî özerkliğe sahip olarak kanunlarla verilen görev ve sorumlulukları yerine getiren, yetkileri kullanan; karar organı seçmenler tarafından seçilerek oluşturulan kamu tüzel kişisi*" olarak tanımlanmaktadır. Kanun'un 7/g maddesinde; büyükşehir belediyelerinin kentsel tasarım projeleri, uygulama ve onarım çalışmaları konusundaki yetki ve sorumlulukları tanımlanmaktadır. Kanun'un 7/z maddesinde ise, afet riski taşıyan ve kamu güvenliğini tehlikeye atan binaların tahliye ve yıkım çalışmaları kapsamında yetki ve sorumluluklarına dair hükümler yer almaktadır.

3/7/2005 tarih ve 5393 sayılı Belediye Kanunu kapsamında belirtilen konularda belediyeler belirli çevresel konularda halkın karar verme süreçlerine katılımını destekleme konusunda yetkili kılınmıştır. Konu ile ilgili Kanun'un 13. maddesinde ikamet edilen yerde belediye kararlarına katılım hakkından ve belediyelerin konu ile ilgili kişileri de katılıma teşvik etmesinden bahsedilmiştir. Kanun'un 76. ve 77. maddelerinde; kent konseylerinin çevresel katılım ve yönetim konusundaki görevleri belirtilmiş, hizmetlerde etkinliği arttırmak için gönüllü kişilerin katılımına da destek verilmesi gerekliliğinden bahsedilmiştir.

Aynı Kanun'un Ek 3. maddesinde (Ek: 15/2/2018-7099/16 md.) ise; e-belediye uygulamasına yer verilmiştir. Bu kapsamda, belediyelerin görev ve sorumluluklarını yürütme ve vatandaş başvurularının değerlendirilmesi süreçlerinde web tabanlı bir sistem kullanmasına ilişkin hükümler yer almaktadır; "*e-belediye bilgi sistemini kurmaya, işletmeye, veri saklama, veri iletimi ve veri paylaşımı ile ilgili politikaları tespit etmeye, çalışma usul ve esaslarını belirlemeye ve bu sistem ile ilgili merkezî bir hizmet standardizasyonu oluşturmaya İçişleri ile Çevre ve Şehircilik bakanlıkları müştereken yetkilidir.*" denilmek suretiyle, toplumun sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkını destekleyen bir bakış açısıyla yerelde katılımın önemini vurgulandığı çıkarımı yapılabilir.

Yerelde halkın katılımını destekleyen bir diğer yasal belge ise 9/10/2003 tarih ve 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanunu'dur. Söz konusu Kanun'un amacı, yönetimin demokratik bir şekilde yürütülmesi adına öncelikli olan eşitlik, tarafsızlık ve açıklık ilkeleri gözetilerek kişilerin bilgi edinme hakkını kullanmalarına ilişkin esas ve usulleri düzenlemektir.

Kanun'un 3/e maddesinde, bilgi veya belgeye erişim hakkına yönelik hükümlere yer verilmektedir. Bu kapsamda, ilgili kurum ve kuruluşların talep edilen bilgi veya belgenin niteliğine bağlı olarak başvuru sahibine bir kopya temini ya da (kopya verilmesinin mümkün olmadığı durumlarda) başvuru sahibinin bilgi veya belgenin aslını inceleyerek not almasına izin verilmesine ilişkin ifadeler bulunmaktadır.

Bilgi verme yükümlülüğü ile ilgili olarak ise 5. maddede belirli hükümler yer almaktadır. Bu çerçevede; kurum ve kuruluşlar, söz konusu Kanunda belirtilen istisnai durumlar dışındaki her türlü bilgi veya belgeyi başvuranların yararlanmasına sunmak ve bilgi edinme başvurularını etkin, süratli ve doğru sonuçlandırmak üzere, gerekli idarî ve teknik tedbirleri almakla yükümlü oldukları belirtilmektedir.

3.2. Veri Toplama ve Katılım Boyutu (Kurumsal Web Siteleri İçerik Analizi)

Adana Büyükşehir Belediyesi ve bağlı üç ilçesinin (Sarıçam, Ceyhan ve Kozan) kurumsal web sayfalarında katılımın gerçekleştirilebilmesi için gerekli unsurların bulunup bulunmadığına yönelik bir değerlendirme yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. E-Yönetişimin Adana Büyükşehir Belediyesi ve Bağlı Üç İlçesinde Çevresel Açından ‘Katılımcılık’ Perspektifinde Değerlendirilmesi (Üzmez, 2019 ve Torres ve ark., 2006 Aktel, 2009 ve Şat, 2016 ve Gündoğdu, 2021’den geliştirilerek)

	ADANA Büyükşehir Belediyesi	SARIÇAM Belediyesi	CEYHAN Belediyesi	KOZAN Belediyesi
WEB SİTESİ BİLGİ VE ERİŞİLEBİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ				
Belediye yönetim şeması ve birimleri içeriyor mu?	1 Birimler görevleri ile erişilebilir durumdadır.	1 Müdürlükler yer almaktadır.	0	1 Organizasyon şeması yer almaktadır.
Belediye Başkanı e-posta adresi bulunuyor mu?	0,5 ozelkalem@adana.bel.tr adresi yer almaktadır.	0	0	0
Belediye Başkanı kurumsal telefon numarası bulunuyor mu?	1	0	0	1
Belediye Başkanı sosyal medya hesapları bulunuyor mu?	1 (https://www.facebook.com/zeydanKaralar01/ https://twitter.com/ZeydanKaralar01 https://www.instagram.com/zeydanKaralar01/ https://www.youtube.com/c/ZeydanKARALAR01)	1 (https://www.facebook.com/BilalUludag01) (https://twitter.com/avbilaluludag) (https://www.instagram.com/bilaluludag/)	0	1
Başkana mesaj gönderebilme butonu bulunuyor mu?	0,5 ozelkalem@adana.bel.tr adresi bulunmakta; Başkanın kişisel e-mail adresi yer almamaktadır.	1 “Başkana mesaj” butonu bulunmaktadır.	1 “Başkana mesaj” butonu bulunmaktadır.	1 “Bize Ulaşın” sekmesi bulunmaktadır.
Belediye başkanı ve belediye meclis üyelerinin görev paylaşımı ve sorumluluk alanları hakkında bilgiler bulunuyor mu?	1 Meclis Komisyonu başlıklar halinde verilmiştir.	0 Meclis üyeleri belirtilmiş ancak hizmetleri hakkında bilgi verilmemiştir.	0	0,5 Belediye Başkanının görevleri bulunmaktadır.

Meclis üyelerinin isimleri bulunuyor mu?	1 İsimleri ve fotoğrafları bulunmaktadır.	1 İsimleri ve fotoğrafları bulunmaktadır.	0	1 İsimleri bulunmaktadır
Meclis üyeleri e-posta adresi bulunuyor mu?	0	0	0	0
Meclis üyeleri telefon numarası bulunuyor mu?	0	0	0	0
Meclis üyeleri mesaj gönderebilme butonu bulunuyor mu?	0	0	0	0
Belediyenin en güncel Stratejik Planları, Faaliyet Raporları, Performans Programları bulunuyor mu?	1	1	0,5 Meclis gündemi erişilebilir durumdadır.	0
Çevresel çalışmalar ile ilgili herhangi bir rapor bulunuyor mu?	0	0	0	0
Çevresel konularda yapılan çalışmalar ile ilgili tutanak, haber veya görsel bulunuyor mu?	1 Hizmet alımı ve çevre düzenleme konularına ilişkin bilgiler erişilebilir durumdadır.	1	0,5 Ağaçlandırmaya çalışmalarına ilişkin meclis gündemi belirlenmiştir.	0
VATANDAŞ İLE İLETİŞİM				
Farklı dil seçenekleri var mı?	0	0	0	0
Kurumsal sosyal medya hesabı bulunuyor mu?	0 Başkanın sosyal medya hesapları ulaşılabilmektedir.	1 Belediyenin sosyal medya hesapları bulunmaktadır.	0	1
AÇIKLIK, ŞEFFAFLIK, HESAPVEREBİLİRLİK				
Meclis gündemi verilmiş mi?	1 Güncel ulaşılabilir meclis gündemi Ocak 2022 tarihlidir.	1 Ulaşılabilir en güncel meclis gündemi Kasım 2021 tarihlidir.	1 Güncel ulaşılabilir meclis gündemi Ocak 2022 tarihlidir.	0
Meclis kararları tarihleri ile belirtilmiş mi?	1 Aylık kararlar ulaşılabilir durumdadır.	1 Aylık kararlar ulaşılabilir durumdadır.	1 Meclis kararları tarihli olarak ulaşılabilir durumdadır.	0
Web sitesinde etkinlikler, duyurular ve haberler tarihleriyle birlikte yayınlanıyor mu?	1 Haberler, etkinlikler ve ihale duyuruları bulunmaktadır.	1 Haberler, etkinlikler ve ihale duyuruları bulunmaktadır.	0	1

Web sitesinde büyükşehir belediyesinin vatandaşlara sağladığı çevresel hizmetlerin bir listesi var mı?	1 Stratejik Planda belirtilmiştir.	0,5 Tamamlanan park ve anıtlara ait hizmetler internet sayfasında yer almaktadır.	0	0
Meclis toplantı canlı yayını yerel halk izleyebiliyor mu?		0	0	0
Evrak takip sistemi bulunuyor mu?	1 Evrak Doğrulama Sistemi ve bu konuda eğitim videoları bulunmaktadır.	0	0	0
Çevresel konular ile ilgili kamu ihale ilanlarına yer veriliyor mu?	1	0,5	0	0
İmar Planlarına ulaşım sağlanabiliyor mu?	0	1 İmar Durumu Bilgisi sitede yer almaktadır.	0	0
Kararlar verilirken kent konseyinin görüşlerine yer veriliyor mu?	1 Stratejik Plan hazırlanması aşamasında tüm paydaşlar ile toplantı yapılmıştır.	1 Belediye meclis karar defterinde ilgili faaliyetlerde meclis üyelerine de yer verilmiştir.	0	0
Belediye, Kent Konseyi ve İnternet sitesi dışında, vatandaşların demokratik katılımını sağlayacak kurumsal imkânlar (halk günü, mahalle ziyareti, vb.) sunuyor mu?	0	0	0	0
ÇEVRESEL AÇIDAN 'KATILIM'				
Belediye yerel girişim-sivil toplum bağı var mı?	1 Stratejik Plan hazırlık sürecine ilgili kurum/kuruluşlar da davet edilmiştir.	1	0	0
Belediyeden Vatandaşa İletişim				
Çağrı Merkezi (Alo Belediye) telefon numarası bulunuyor mu?	1 ALO 153	1 444 72 23 SABE	1	1
Çevrimiçi iletişim sağlanabiliyor mu?	1	1	0	1
İletişim Formu var mı?	0	1 Turkuaz Masa	1 Halk Masası	1
Çevresel açıdan soru veya görüşlere yer verilen anket bulunuyor mu?)	0	0	0	0

Anket sonuçları sitede yer alıyor mu?	0	0	0	0
E-Bilgi Edinme olanağı (Bilgi Edinme Hakkı kanunu çerçevesinde büyükşehir belediye ile ilgili bir konuda bilgi edinebilmek için elektronik başvuru yapma imkânı) bulunmakta mı?	0,5	1	1	1
Vatandaşın Belediyeye İletişim				
Bilgi edinme / Öneri/ Dilek / Şikayet Bildirimi için ilgili bir bölüm bulunuyor mu?	1 Dilek-Şikayet Oluştur/Dilek Şikayet Sorgula butonları bulunmaktadır.	0	0	1 Dilek-Şikayet Oluştur/Dilek Şikayet Sorgula butonları bulunmaktadır
Karar verme sürecinde e-oylama mekanizması bulunmakta mı?	0	0	0	0
Katılımcı bütçeleme kapsamında vatandaşların görüşlerine yer veriliyor mu?	0	0	0	0
TOPLAM DEĞERLENDİRME	21	18	7,5	11,5
Puanlama; (1 puan) bilgi mevcut, (0 puan) bilgi mevcut değil, (0,5 puan) bilgi yönlendirmeli / site içi aramada elde ediliyor.				

Tablo 2 incelendiğinde; 0 puanı alan kriterler değerlendirilirken tatmin edici bilgilere ulaşamadığı için herhangi bir açıklama da bulunulmamıştır. Bu çerçevede Adana Büyükşehir Belediyesi; toplamda 21 puan, Sarıçam Belediyesi 18 puan, Ceyhan Belediyesi 7.5 ve Kozan Belediyesi ise 11.5 puan almıştır. Adana Büyükşehir Belediyesi resmi web sitesinin ilçe belediyelerine göre daha yüksek puanlamaya sahip olması olasıdır. Ceyhan İlçe belediyesi ise en düşük puanı almış ve bu konuda geliştirilmesi gerekliliği söz konusudur. Kriterler incelendiğinde ise çevresel çalışmalar konusunda Adana Büyükşehir belediyesi ve incelenen ilçe belediyeleri özelinde raporların, bu konuda bilgilerin bulunması kullanıcılar açısından belediyelere olan tutumların gelişmesi yönünde pozitif etkisi olacağı gerçeği kaçınılmazdır. Bu çerçevede; ilçe belediyelerde çevresel konularda web sitelerinde raporların bulunmayışı eksikliklerdir. Adana Büyükşehir Belediyesi de bu konuda web sitesinde çevresel açıdan gerçekleştirilen faaliyetlerin bulunma oranını arttırmalıdır.

Açıklık, şeffaflık, hesap verebilirlik kavramları 21. Yüzyıl belediye yönetiminde önemli kavramlar olarak nitelenmektedir. Bu açıdan da değerlendirildiğinde halkın verilen değerlendirme kriterlerinin tümüne ulaşması ve 1 tam puanı alması önemlidir. Kriterler incelendiğinde özellikle ilçe belediyelerin bu konuda düşük puanlar aldığı da görülmektedir. Ayrıca karar verme süreçlerinde e-oylama mekanizmasının bulunmaması ise Adana Büyükşehir Belediyesi ve ilçe belediyeleri özelinde 0 değerini alan kriter olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Çevresel açıdan katılımı sağlanmasında Beyaz Masa, Turkuaz Masa gibi uygulamaların bulunması ve birebir görüşmelerin telefondan ilgili birimler ile sağlanabilmesi ise bu çerçevede güzel uygulamalar arasındadır.

Sarıçam Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü hizmetlerinde; Tablo 2’de görüldüğü gibi çağrı merkezi ve turkuaz masa kayıtlarından yararlanmaktadır. Bu durum çevresel konularında katılımı destekleyen örnek bir uygulama olarak gösterilebilir.

Tablo 2. Sarıçam Belediyesi, Park ve Bahçeler Müdürlüğü Kamu Hizmet Standartları Tablosu (Sarıçam Belediyesi, 2022).

SUNULAN HİZMETİN ADI	BAŞVURUDA İSTENİLEN BELGELER	HİZMETİ TAMAMLAMA SÜRESİ (EN GEÇ)
Yeşil Alanlarda Ot Temizliği	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	5 Gün
Çim Biçimi	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	5 Gün
Oyun Grupları Bakım ve Onarım	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	7 Gün
Ağaç Budama	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	Mevsim dahilinde 8 Gün
Ağaç Kesim Talebi (Uygunluğunun Kontrolü)	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	2 Gün
Bank Talebi	Dilekçe, e-posta, Turkuaz Masa Kayıtları, Çağrı Merkezi Kayıtları	İhale dosyasından karşılandığından 3-6 Ay mevcutta var ise 5 Gün

4. SONUÇLAR

Küresel perspektifte teknolojik boyutta yaşanan gelişmeler, sektörel hizmet ve uygulamaların da ağırlıklı olarak teknolojik tabanlı yürütülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Elektronik ortamda yürütülen süreçlerin çeşitlilik, kapsam ve kullanıcı sayısı yönünden giderek arttığı günümüz koşullarında, farklı ülke örneklerinin de artış gösterdiği görülmektedir. Yönetim rejimi olarak demokrasiyi benimseyen Türkiye’de çevresel karar verme mekanizmasında yerel yönetimlerin etkinliği ve bu çerçevede verimlilik, şeffaflık, yerelleşme, yönetilenlerin katılımı, temsil vb. kavramlar oldukça önemli konulardır.

Yerel yönetimlerin çevreye ilişkin görev ve sorumlulukları; yönetsel ve kurumsal, teknik, yasal, finansal araçlar ve insan unsuru bağlamında kategorize edilmektedir. Yönetsel ve kurumsal açıdan görevleri; Anakent Belediyesi, İl Özel İdareleri, Köy Yönetimi, Yerel Yönetim Birlikleri ve Özel Çevre Koruma Birlikleri başlıklarında sınıflandırılmıştır. Teknik açıdan görev ve yetkileri ise; planlama, ÇED, yapı denetimi ve imar uygulamalarıdır. Yasal araçlar; yerel yönetimlerin tabi olduğu yasal düzenlemelerdir. Finansal araçlar; Çevre Temizlik Vergisi, Ruhsat Verme Yetkisi, İzin Verme Yetkisi ve sübvansiyonlardır. İnsan unsuru ise STK ve çevre eğitimidir (Zeytin & Kırlioğlu, 2014). Bu kapsamda, yerelde yaşam kalitesinin yükselmesini hedefleyen hizmet ve uygulamalar, yerelde katılımı destekleyici politikalar ve ülkemizin katılımı destekleyen bakış açısı ile desteklenmelidir.

Tüm dünya gündeminde ciddi bir tehdit olarak ortaya çıkan ve devam eden COVID-19 küresel salgını gibi sorunlar, her ülkenin kendi yasal ve yönetsel çerçevesinde belirli önlemler almasına neden olmuştur. Bu kapsamda sunulan çözüm önerileri arasında internet tabanlı erişim sistemi olanakları ile kurumsal ve sosyal konularda farklı gereksinimlerin karşılanması mümkün hale

getirilmiştir (Yalçınkaya, 2021). Bu durum e-devlet ve e-katılım hizmetlerinin vatandaşlar için ne derece önemli olduğunu uygulamalı şekilde görme fırsatı sunmuştur. Böylelikle, çağın koşullarına uygun olarak vatandaşların ilgili kamusal konularda çevrimiçi olarak tartışabilmeleri, aktif katılım sergileyebilmeleri ve yetkililerden anında geri bildirim alabilmeleri ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Gündoğdu, 2021). Bu doğrultuda ifade edilebilir ki; demokrasi ve katılım bağlamında önemli bir yer tutan e-yönetişimin yerel yönetimlerde uygulama olanaklarının yükseltilmesi, çağın gereklilikleri arasındadır. Nitekim, e-yönetişimin bir parçası olan e-belediye uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır (Üzmez, 2019).

Bu çalışmada, yerel yönetimlerde çevresel konulara katılım yaklaşımının değerlendirilmesi kapsamında e-yönetişim sisteminin etkinliği, Adana Büyükşehir Belediyesi, Sarıçam Belediyesi, Ceyhan Belediyesi ve Kozan Belediyesi uygulamaları özelinde incelenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, yerel demokrasinin desteklenmesi ve çevresel katılımın sağlanmasına yönelik olarak ilgili belediyelerin kurumsal web sayfaları içerik analizine tabi tutulmuştur. Ardından, belediyelerin farklı uygulamalarında çevresel konulara katılım sürecinin nasıl değerlendirildiği üzerine yarı yapılandırılmış görüşmeler ve dilekçeler ile bilgiler edinilerek sonuçlar tartışılmıştır. Çalışma kapsamında yer verilen ve incelenen kriterler doğrultusunda elde edilen çıkarımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çevresel konularda, belediyelerin mevcut veri depolama sisteminin belirli bir çerçevede kamu ile paylaşılması ve raporların erişilebilirliği, vatandaşın belediyeye yönelik tutumunu olumlu etkileyen gerekli bir konudur.
- Özellikle ilçe belediyelerinin internet tabanlı kurumsal erişim sayfalarında çevresel konulardaki ilgili raporların yer almaması dikkat çekmektedir ve bu durum ciddi bir eksikliklerdir.
- Adana Büyükşehir Belediyesi internet tabanlı kurumsal erişim sayfasında da çevresel faaliyetlerin ve hizmetlerin paylaşım oranı ve erişilebilirliği arttırılmalıdır.
- Halk katılımlı ve daha demokratik bir kent yönetim modeli adına, yerel yönetimlerde demokrasinin gereklerinin yerine getirilme uygulamaları arttırılmalıdır.
- Etkin çevre yönetimi kapsamında, tüm kesimlerinin erişimini destekleyici katılımcı bir anlayış çağdaş bir yaklaşımdır. İyi örgütlenmiş bir çevre yönetimi, katılım ve denetim mekanizmalarını esas alan yönetim anlayışı içerisinde kamunun dışında örgütlenmiş örgütlü yapılardan meydana gelmelidir.
- Özellikle en etkin ve yetkili aktörler olan merkezi ve yerel yönetim kurum ve kuruluşlarının yanında onları denetleyecek ve kontrol edebilecek STK ve yereldeki vatandaşların etkin rol alması gerekmektedir.
- Yerel yönetimlerde karar verme süreçlerine katılımcılık kapsamında yerel halkın görüşleri ve önerileri dikkate alınmalıdır. Böylece, şeffaflık, yetki devri, katılım, adalet, hesap verilebilirlik gibi demokratik yönetim anlayışının ilkeleri uygulanmış olacaktır. Görüş ve isteklerinin uygulamalarda dikkate alındığını gören yerel halk katılıma daha fazla önem vererek yönetimin gerekli tüm kademelerinde katılımı arttıracak yönde hareket edecektir.

Bu araştırmanın sınırlılığındaki temel unsur; içerik analizi yöntemiyle yapılan araştırmaların ve yarı yapılandırılmış görüşmelerin Aralık 2021-Ocak 2022 tarihle arasında gerçekleşmesi nedeniyle; hızla gelişen ve değişen teknolojik şartlar çerçevesinde ilgili belediyelerin de kurumsal web sitelerinin gelişmesi ile farklı tarihlerde yapılacak analizlerin farklı sonuçlar doğurabileceği gerçeğidir.

Yerel yönetimlerde söz hakkı alan bireyler kendi yaşadıkları ortamın korunması ve geliştirilmesi konusunda alınan kararlara katılım gösterdikleri takdirde; daha fazla bilgi sahibi olacak, görüş ve önerilerini doğrudan iletebilecek, yeni yatırımları koruma-kullanım anlamında daha fazla

sahiplenici ve korumacı olacaklardır. Yönetişim konusunun uygulama alanı doğrudan görülebilecek yalnızca devlet ve bürokrasi yerine; STK, devlet, yerel halk ve özel sektörlerle karşılıklı etkileşim halinde olunacaktır. Kent konseylerinin stratejik raporların hazırlanması aşamalarında görüşlerinin alınması da yerel yönetimlerde etkili yönetişimin temel taşıdır.

On Birinci Kalkınma Planı’nda iyi yönetişim konusuna da değinilmiş; kamu yönetiminde hesap verme sorumluluğunun yerleştirilmesi, katılımcılığın güçlendirilmesi, kamu hizmet sunumunda eşit ve adil muamele yapılmasının sağlanması ve şeffaflığın artırılması temel amaç olduğu vurgulanmıştır.

Sonuç olarak ifade edilebilir ki; e-yönetişim çerçevesinde çevresel karar verme ve uygulama faaliyetlerinde halkın katılımı, salt çevresel tabanlı değil, sosyoekonomik yönden gereksinim-beklentilerin göz önüne alındığı bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesi adına oldukça önemlidir. Böylelikle, hem çevre bileşenlerinin hem de kamu yararının gözetildiği uygulamaların artması mümkün olacaktır. Mevcut yasal ve yönetsel çerçeveye dayanarak, toplumun büyük bir kesiminin menfaatine uygun ve bütüncül ve katılımlı karar verme süreçlerinin yürütülmesi zorunlu bir gereksinim olarak ifade edilebilir. “Kamu yararı” ifadesinin, 1982 Anayasası ve ilgili kanunlar çerçevesinde salt sözel boyutta kalmayıp, özellikle yerel yönetimler tarafından yürütülen uygulamalarda ve düzenlemelerde kendine yer bulması oldukça önemlidir.

Yazarların Katkısı

Bu başlık altında “Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.” “1. yazar %40 oranında, 2. yazar %35 oranında, 3. Yazar %25 oranında katkı sağlamıştır.”

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Adana Büyükşehir Belediyesi, (2022). Adana Büyükşehir Belediyesi resmi web sitesi. <https://www.adana.bel.tr/>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

Adana Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, (2021). ÇED duyuruları. <https://eced-duyuru.csb.gov.tr/eced-prod/duyurular.xhtml>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

Aktel, M. (2009). İl belediye web sitelerinin işlevselliği üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 223-240.

Allen, R.C. (2009). The british industrial revolution in global perspective. *Cambridge University Press*, 331, Cambridge.

Ashton, T.S. (1997). The industrial revolution 1760-1830. *Oxford University Press*, 139. Oxford.

Bağ, F. (2017). *Kentsel alan kullanımlarının Kayseri Kocasinan İlçesi örneğinde ekolojik açıdan incelenmesi*. [Yüksek lisans tezi] Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Belediye Kanunu. (2005). 3/7/2005 tarihinde kabul edilen 5393 sayılı Belediye Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5393-20150404.pdf>. adresinden 22 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Bilgi Edinme Hakkı Kanunu. (2003). 9/10/2003 tarihinde kabul edilen 4982 sayılı Bilgi Edinme Hakkı Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.4982.pdf>. adresinden 24 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Bimay, M. (2021). Çevre yönetiminde merkezi ve yerel yönetimlerin rolüne ilişkin bir değerlendirme. *RESS Journal Route Educational & Social Science Journal*. 8(1), 257-275.
- Boyras, M. (2022). *Otel işletmelerinin çevre yönetim sistemine katılımının engelleyicileri ve çevre yönetimi uygulama düzeyine etkisi*. [Doktora tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
- Büyükşehir Belediye Kanunu. (2004). 10/7/2004 tarihinde kabul edilen 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5216.pdf>. adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Çiftçioğlu, H., & Aydın, A.H. (2019). Türkiye’de yerel yönetimler ve çevre sorunlarının çözümündeki sorumlulukları, rolleri ve önemi. *Al-Farabi International Journal on Social Sciences*. 3 (1), 117-128.
- Gardner, G.T., & Stern, P.C. (1996). Environmental problems and human behavior. *Needham Heights, MA, Allyn & Bacon*, 392. US.
- Görün, M. (2006). Yerel demokrasi ve katılım: İzmir, Konya ve Ağrı il genel meclis üyeleri üzerinde bir araştırma. *Journal of Administrative Sciences*, 4(2), 154-189.
- Gündoğdu, H.G. (2021). Web sitelerinin e-katılım düzeyleri üzerine bir araştırma: Türkiye büyükşehir belediyeleri örneği. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. 10(28), 339-367.
- Hacıköylü, C. (Ed.) (2013). Yerel yönetimler, yerel yönetimlerde karar süreçlerine katılım. *Anadolu Üniversitesi Yayını*, 133-152. Eskişehir.
- Hardoy, J.E., Mitlin, D., & Satterthwaite, D. (1992). Environmental problems in third world cities. *London, England, Earthscan Publications*, 302. London.
- On Birinci Kalkınma Planı. (2019). Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji Ve Bütçe Başkanlığı. https://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2021/02/On_Birinci_Kalkinma_Plani_Ozel_Ihtisas_Komisyonlari_El-Kitabi.pdf. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. (2012). 12/11/2012 tarihinde kabul edilen 6360 sayılı On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi Ve Yirmi Altı İlçe Kurulması ile Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/03/20130322-2.htm>. adresinden 16 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Öztaş, C., & Zengin, E. (2008). Yerel yönetimler ve çevre. *Journal of Social Policy Conferences*. 54, 181 – 200.

- Roberts, F.S. (1976). Discrete mathematical models, with applications to social, biological, and environmental problems. Information Systems Division, National Agricultural Library. <https://www.nal.usda.gov/>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sarıçam Belediyesi. (2022). Plan-Raporlar Bölümü. *Park ve Bahçeler Müdürlüğü*. <http://www.saricam.bel.tr/plan-raporlar/kamu-hizmet-standartlari>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Say, N., & Yücel, M. (2005). Strategic environmental assessment and national development plans in Turkey: Towards legal framework and operational procedure. *Environmental Impact Assessment Review* 26,301-316.
- Şat, N. (2016). Türkiye'de büyükşehir belediyelerinin genel ağ (web) sitelerinin analizi. *Türk İdare Dergisi*, (482), 183-238.
- Şengül, M. (2002). "Çevre yönetimine halk katılımı yolu olarak "belediye yönetimine halk katılımı", katılımı içselleştirmiş bir yönetim alt dalı olarak "çevre yönetimi". *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 11(2), 25-40.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2009). Kentleşme şurası, yerel yönetimler, katılımcılık ve kentsel yönetim komisyonu raporu, 11-110. <https://kentges.csb.gov.tr/kentlesme-surasi-2009-i-284>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Toprak, Z. (2012). Çevre Yönetimi ve Politikası (Üçüncü Baskı). *Albi Yayınları*, 271- 291. İzmir.
- Türkiye Cumhuriyeti Anayasası. (1982). Yayımlandığı Resmî Gazete: Tarih: 9/11/1982 Sayı: 17863.
- Üzmez, P. (2019). *Türkiye'deki büyükşehir belediyelerinin e-yönetişim uygulamaları: Yerel demokrasi ve katılım açısından bir değerlendirme*. [Yüksek lisans tezi], Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Yalçınkaya, N.M. (2019). *Ulaşım sektöründe stratejik çevresel değerlendirme uygulamasının Türkiye açısından irdelenmesi*. [Doktora tezi], Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Yalçınkaya, N.M. (2021). COVID-19 Küresel Salgını Sürecinde Sağlık Personellerini Hedef Alan İyileştirici Bahçelerin Önem ve Önceliği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23 (3), 733-741.
- Yücel, M. (1999). Çevre sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:109. *Ders Kitapları Yayın No: A-28*, Adana.
- Yücel, M. (2003, Haziran, 05). Çevresel etki değerlendirmesi ve stratejik çevresel değerlendirmedeki son gelişmeler. Çanakkale Onsekizmart Üniversitesi, Çevre Sorunları Paneli. Çanakkale, Türkiye.
- Yücel, M. (2010). Doğa koruma. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 265. *Ders Kitapları Yayın No: A-85*. Adana.
- Yücel, M. (2018). Çevresel etki değerlendirmesi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:310, *Ders Kitapları Yayın No: A-94*. Adana.

- Yücel, M., (Ed. N.P. Say). (2011). Stratejik çevresel değerlendirme ve planlama, *TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Yayınları* 2011/2, 1-15. Ankara.
- Zengin, E. (2009). Yerel Yönetimler ve Çevre. *Journal of Qafqaz University, An International Journal, Social Science*. 26, 116-123.
- Zeytin, M., & Kırılıoğlu, H. (2014). Çevre yönetim sistemi ve yerel yönetimler. *The Journal of Academic Social Science*, 2(5), 238-254.
- 2872 Sayılı Çevre Kanunu. (1983). Kanun No: 2872. Kabul Tarihi: 9.8.1983. <https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.2872.pdf>. adresinden 25 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.



Araştırma Makalesi / Research Article

**KİLİSE YAPILARININ DÖNÜŞÜMÜNÜN GAZİANTEP ÖRNEĞİ
ÜZERİNDEN İNCELENMESİ***

**EXAMINING THE TRANSFORMATION OF CHURCH STRUCTURES
ON THE PERSPECTIVE OF GAZİANTEP**

Enes HACIARAP¹

Fernaz ÖNCEL²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1083685>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
eneshaciarap@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
06.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
09.08.2022

Öz

Gaziantep, geçmişten günümüze zengin kültür katmanına sahiptir. Bu kültür katmanından günümüze ulaşan yapılar arasında Gaziantep kiliseleri önemli bir yer tutar. Zamanla işlevini yitiren ve bozulan kiliselerden üçü şehir merkezinde, biri Nizip ilçesinde yer almaktadır. Bu kiliselerin, yeniden yaşama katılması ve gelecek nesillere aktarılması için yerel yönetimler tarafından her birine farklı dönemlerde farklı işlevler verilmiştir. Günümüzde şehir merkezinde bulunan üç kilise kamusal bir alan olarak işlevini sürdürürken, Nizip ilçesinde yer alan kilise atıl vaziyettedir. Bu makale kapsamında; Gaziantep şehir merkezinde yer alan Surp Asdvadzadzin Kilisesi, Aziz Bedros Kilisesi, Kendirli Kilisesi ve Nizip ilçesinde yer alan Fevkani Kiliseleri için yapılan güncel koruma uygulamaları “yeniden işlevlendirme” bağlamında incelenmiştir. Bu kiliselere verilen yeni işlevlerin, yapıların somut ve somut olmayan değerleri (kullanıcı kitlesi, bulunduğu konum, yapının fiziksel durumu vb.) yerinde yapılan araştırmalar ışığında değerlendirilmesi, karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu karşılaştırma ile verilen işlevlerin yaşanabilirliğinin çağdaş yaşam koşullarına uygunluğu ve sürdürülebilir bir koruma yaklaşımı bakımından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gaziantep kiliseleri, koruma, restorasyon, yeniden işlevlendirme.

Abstract

Gaziantep, has a rich cultural layer from past to present. Gaziantep churches occupies an important place among the structures that have survived from the cultural layer. The churches lost their function and deteriorated over time, three of them are located in the city center and one is located in Nizip. Different functions have been given to each of these churches in different periods by local governments in order to reintegrate them into life and pass them on to future generations. Nowadays, three churches in the city center continue to function as public spaces, while the church in Nizip is idle. In this article; Current conservation practices for Surp Asdvadzadzin Church, St. Bedros Church, Kendirli Church, Fevkani Church located in Nizip district in Gaziantep city center; It has been studied in the context of “re-functionalisation”. It is aimed to evaluate and compare the new functions given to these churches and the tangible, intangible values of the buildings (user group, location, physical condition of the building, etc.) in the light of on-site research. With this comparison, it is aimed to evaluate the livability of the given functions in terms of their suitability for modern living conditions and a sustainable conservation approach.

Keywords: Gaziantep churches, protection, refunction, restoration.

*Bu yayın Enes HACIARAP isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Koruma ve Restorasyon Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
eneshaciarap@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-2664-9022.

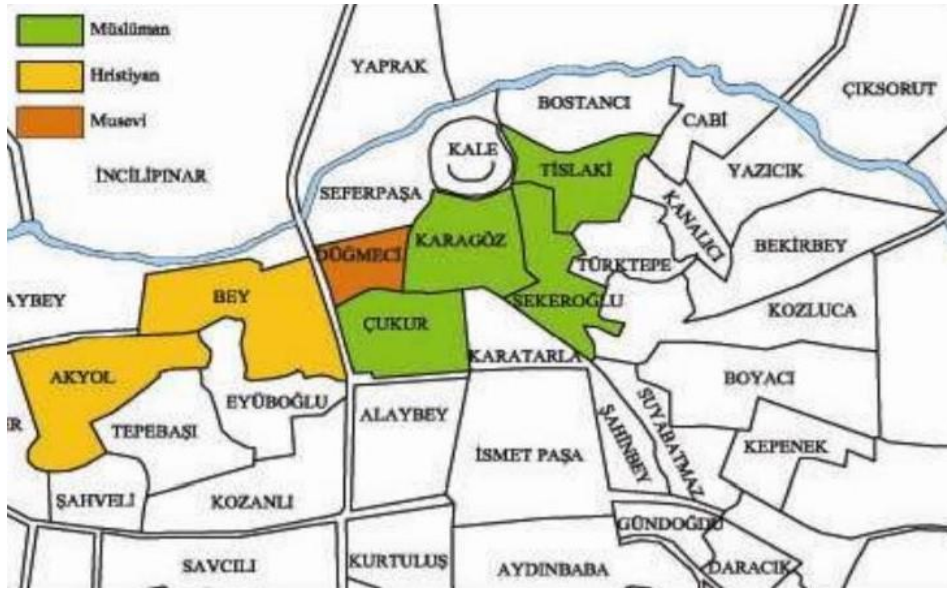
²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye.
fernazoncel@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-8919-6016.

1. GİRİŞ

Gaziantep, Paleolitik ve Tunç dönemlerinden itibaren birçok medeniyet ve uygarlığın yerleşim yeri olarak kullanılmıştır (Sönmez, 2018). Mezopotamya bölgesinde kurulan şehir ayrıca İpek Yolu'nun üzerinde konumlandığı için stratejik bir öneme de sahiptir. Birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan şehir ayrıca konumundan dolayı da zengin kültürel mirasa sahiptir. Eski yerleşim yeri bugünkü şehir merkezinin 12 km. kuzeybatısında yer alan Dülük Köyü'ndedir. Yapılan arkeolojik çalışmalarda kalkolitik, taş ve bakır dönemlerine ait kalıntıların bulunması sebebi ile Anadolu'nun ilk yerleşim yerleri arasında gösterilmektedir. Babil İmparatorluğu'nun bir dönem hakimiyeti altında kalan şehir, M.Ö 1700'lü yıllarda ise Hitit Devleti'nin bir kenti olmuştur (Kanalıcı, 2012).

Roma, Bizans İmparatorlukları bu bölgede hakimiyet kurmuşlardır. O dönemlerden günümüze ulaşan Zeugma Antik Kenti'nin kalıntıları önemli bir yere sahiptir. Selçuklular, Memlûklüler ve Osmanlılar bölgede yaşadıkları dönemlerde çok sayıda medrese, cami, han ve hamam inşa etmişlerdir. Bu medeniyetler döneminde inşa edilen yapılar, kültürel aktarımlar şehre ticaret ve el sanatları yönünden de katkı sağlamıştır (Ünal, 1998).

Gaziantep, birçok kültürü ve medeniyeti barındırdığından dolayı çok katmanlı bir şehirdir. Günümüze ulaşan bu kültür, geçmişe dair bilgi ve belge niteliği taşımaktadır. Şehrin yerleşimine bakıldığı zaman çoğunlukla Müslümanların Gaziantep Kalesi çevresine, Musevilerin Düğmeci Mahallesi, Hristiyanların ise Bey Mahallesi ve Akyol Mahallerine yerleştiği görülmektedir (Gül, 2005).



Şekil 1. Gaziantep'te Bulunan Nüfus Gruplarının Etnik Kökenlere Göre Dağılımı (Tatlıgil, 2005)

Gaziantep genelinde kiliseler, farklı dönemlerde şehrin merkezlerine ve hakim noktalarına inşa edilmiştir. Şehir sınırları içerisinde günümüze ulaşan dört adet kilise vardır. Bu kiliselerden bir tanesi Nizip ilçesinde; üç tanesi ise şehir merkezinde yer almaktadır.

Zaman içerisinde çeşitli etkenlerden dolayı cemaati azalan kilise yapıları işlevini yitirmiştir. Bu kiliselere farklı dönemlerde çeşitli işlevler verilmiştir. Günümüzde şehir merkezinde bulunan üç kilise kamusal alan olarak işlevlendirilmiştir. Nizip ilçesinde ki kilise yapısı ise atıl vaziyettedir.

12. yüzyılda yapıldığı belirtilen fakat yapım tarihi tam bilinmeyen Nizip ilçesinde yer alan Fevkani Ortodoks Kilisesi, 1800'lü yıllarda camiye çevrilmiştir ancak 1888 yılında ilçe merkezinde inşa edilen camiler nedeni ile atıl durumda kalmıştır. 1970-1971 yılları arasında belediye tarafından depo olarak kullanılmış, 1971 yılında tekel idaresine kiraya verilmiştir (Eker 2006). Günümüzde ise yapı atıl durumda kalmıştır. Şehir merkezinde bulunan Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Cami) 1892 yılında inşa edilmiştir. Yapı Ortodoks Kilisesi'dir. Kilise 1920'li yıllarda şehirde Ermeni nüfusu azalınca 10-15 sene atıl durumda kalmıştır. 1934 yılında Adalet Bakanlığına tahsis edilen yapı 50 sene hapisane olarak kullanılmıştır (Kartal, 2015). 1982 senesinde bir vatandaş tarafından Adalet Bakanlığı himayesinden satın alınarak camiye çevrilmiştir. Yapı hâlâ camii olarak kullanılmaktadır. Aziz Bedros Kilisesi 1723 yılında inşa edilen Katolik Kilisesi'dir. 2005 yılında yol yapım çalışması sırasında bulunmuştur. Bir dönem depo olarak kullanılan kilise, 2008 yılından itibaren "Ömer Ersoy Kültür Merkezi" olarak kullanılmaktadır. Kendirli Kilisesi 1898 yılında inşa edilen bir Katolik Kilisesi'dir. Yapı birçok farklı işleve çevrilmiştir. Gaziantep kuşatması sırasında (1920-1921) Fransızlar tarafından siper olarak kullanılmıştır. Kilise bir dönem sinema ve halkevine dönüştürülmüştür (Güllü, 2009). Günümüzde ise "Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü" olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Gaziantep sınırları içerisinde bulunan yukarıda bahsedilen dört kilise incelenmiştir. Bu kiliselerle ilgili çeşitli kurum ve kuruluşlardan belge, proje, görsel resimler edinilmiş, yerinde gözlemler yapılarak değişim ve bozulma süreçleri ve bunun sonucunda yapılan restorasyon projeleri incelenmiştir. Yapıların yeniden yaşatılması için verilen yeni işlevleri koruma kriterleri bağlamında değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin olumlu ve olumsuz tespitleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece restorasyon uygulamaları incelenerek yapılacak yeni uygulamalara ışık tutması hedeflenmiştir.

2. KORUMA VE YENİDEN İŞLEVLENDİRME

İnsanların kültürlerini en iyi şekilde yansıttığı belgeler mimari yapılarıdır. Mimari ve kültürlerin gelecek nesillere aktarılması koruma bilincini geliştirmiştir (Kiper, 2006). Kelime olarak koruma kavramı; tarihi yapıların tahrip edilmesine ve yıkılmasına engel olmak için kullanılan müdale yöntemlerindedir.

Koruma kavramı ilk olarak 19. yüzyılın ikinci çeyreğinde Viollet-le-Duc ile beraber Avrupa'da gelişmeye başlamıştır. Koruma düşüncesinin gelişiminde ilk olarak Fransa, İngiltere ve İtalya'da "üslup birliğine varış" endişesi ile yapılan onarımlar; bunun tartışma sebebi olması nedeniyle karşı tepki olarak hiç restorasyon yapılmamasını isteyen "romantik görüşün" ileri sürülmesi, sürecin parçaları arasındadır (Ahunbay, 2009). 1964 senesinde çıkarılan Venedik Tüzüğü'nün 3. Maddesinde "Anıtların korunmasında ve onarılmasındaki amaç, onları bir sanat eseri olduğu kadar bir tarihi belge olarak da korumaktır.", 4. Maddesinde ise "Anıtların korunmasındaki temel tavrı korumanın kalıcı olması ve sürekliliğinin sağlanmasıdır." korumanın önemini belirtmektedir (Venedik Tüzüğü, 1964).

Ülkemizde ise Avrupa ile paralel olarak Osmanlı döneminde 19. yüzyılda Asar-ı Atika Nizamnameleri ile ilk yasal düzenlemeler yapılmıştır (Ahunbay, 2009). Nizamnamelerde esas olarak arkeoloji alanındaki çalışmaları düzenlemektedir. Cumhuriyet döneminde ise 1973 yılında 'Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma' kanunu çıkarılmıştır. Bu kanunun 1710 sayılı Eski Eserler Yasasında 'sit' tanımı yapılmıştır (Madran, 2002).

Eski tarihlerden günümüze ulaşan dini yapılar, mezar anıtları ya da işlevsel binalar bugün dünya mirasının yapıları olarak korunmaya değer bulunmaktadır (Ahunbay, 2009). Koruma altına alınan tarihi yapılarda önemli nokta ise üzerinden geçen zaman değil taşıdığı değerlerdir. Bir yapının

korunmaya alınabilmesi için kültürel, sanatsal, mimari olarak değer taşıması gereklidir (Turanlı & Satıcı, 2021). Korumanın temel probleminden biri; neyin, nasıl, ne kadar korunacağıdır.

Tarihi yapılarda birçok koruma yöntemi vardır. Bu koruma yöntemleri Ahunbay'ın sınıflandırmasına göre; sağlamlaştırma, bütünleme, yeniden işlevlendirme, yeniden yapma, temizleme, çağdaş ek, taşımadır (Ahunbay, 2009).

Günümüz istek ve ihtiyaçlarının değişmesi, teknolojinin hızla gelişmesi, nüfusun artması gibi nedenlerden dolayı korunması gerekli tarihi yapılar işlevsel ve fiziksel olarak bozulmaktadır. Tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılması için en önemli unsurlardan biri işlevdir. Günümüzde bulunduğu çevre ihtiyaçları ve insan etkileri göz önünde bulundurularak korunması gerekli tarihi yapıların yaşanabilirliğini sağlamak için yeni işlevler verilmektedir. Mevcut binaların yeniden kullanılmasını gerektiren sebepler; binaların orijinal işlevini kaybetmesi ve işlevsel olarak eskimesidir (Altınoluk, 1998).

Günümüzde restore edilen yapılar özgün işlevlerinden farklı bir işleve dönüştürülmüştür. Bunların birçok sebebi vardır. Bu sebepler arasında; atıl durumda kalan tarihi yapıların yeniden işlevlendirilerek topluma kazandırılması, binaların orijinal işlevini kaybetmesi, kentsel çevre ve imar değişikliği, sosyokültürel yapının dönemselsel olarak farklılık göstermesi, kişilere veya yaşadığı topluma ekonomik olarak yarar sağlaması ve dini farklılıklar nedeni ile yapıların yeniden işlevlendirilmesi gibi birçok neden vardır (Turanlı & Satıcı, 2021). Yeniden işlevlendirme kavramında asıl amaç yapılarda sürdürülebilirliktir. Bu sürdürülebilirlik neticesinde tarihi yapıların hem korunması hem de gelecek nesillere aktarılması sağlanmaktadır (Ünlü & Ünver, 2019).

Özgün işlevini kaybeden veya işlevsel olarak eskiyen yapılar kullanılamaz hale gelip tarihi değerlerini kaybetmektedir. Tarihi yapıların günümüz şartlarında değerlendirilerek geleceğe aktarılması önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda yapıların yeniden işlev verilerek kullanılması, geleceğe aktarılması sağlanmaktadır (Altınoluk, 1998).

Yeniden işlevlendirme kavramı ilk olarak Carta Del Restauero bildirisinde ifade edilmiştir. Bildirinin zamanla yetersiz kalması sonucunda, 1964 yılında Venedik Tüzüğü Carta Del Restauero bildirisini temel ve örnek olarak anıtsal olan binaları yerinde korumak, yeniden işlevlendirilerek korunacak yapılarda; özgün malzemelerin kullanılması, dönemselsel katkılarının göz ardı edilmemesi, yapılan onarım ve işlemlerin özgün yapının önüne geçmemesi, farazi tahminlere dayanarak onarım ve müdahalelerin yapılmaması öncelikli olarak belirtilmiştir. Bu nedenlerle Venedik Tüzüğünde yeniden işlev kazandırılan yapıların plan şemasının değiştirilmemesi gerektiği, yapılara yeni verilen işlevlerin kurallara uygun şekilde uygulanması gerektiği önem arz etmektedir (Uğursal, 2011).

Tarihi yapıların özgünlüğünü bozmadan kullanılabilirliğini kaybetmiş ve insanların ihtiyaçlarını karşılayamayacak olan yapılar yeni işlevler verilerek korunabilir. Zamanın ve teknolojinin ilerlemesi ile birçok tarihi yapı günümüz ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Bu nedenle yapılar bu süreçte günümüz şartlarına bakılarak farklı işlevlere dönüştürülmektedir. Farklı işlevlere dönüştürülürken zamanın sunduğu ihtiyaçlar doğrultusunda yapılara nitelikli ve niteliksiz ekler yapılmaktadır (Turanlı & Satıcı, 2021). Venedik Tüzüğü'nün 13. Maddesinde şöyle yer almaktadır:

“Eklemelere, ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlarda izin verilebilir (Venedik Tüzüğü 1964)” denilmektedir.

Bu makale kapsamında; Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Camii), Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi), Kendirli Kilisesi ve Nizip Fevkani Kilisesi için yapılan güncel koruma ve restorasyon uygulamaları, özellikle yeniden işlevlendirme bağlamında karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3. GAZİANTEP VE KİLİSELER

Gaziantep tarih boyunca Anadolu'da kurulan devletler ve medeniyetler için önemli bir şehir olmuştur. Mezopotamya ve İpek Yolu üzerinde bulunmasından dolayı ise birçok uygarlık ve devlete ev sahipliği yapmış bir şehirdir. Bu sebeplerden dolayı kültürel, dini, mimari olarak çeşitliliği fazla olan bir yer haline gelmiştir. Şehirde aynı anda yaşayan farklı etnik gruplar ve dini topluluklar şehrin biçimlenmesinde ve mimarisinde etkili olmuştur.

Gaziantep'te bulunan kiliseler Protestan, Gregoryen, Katolik, Ortodoks cemaatlerinin kendi dini görüşlerini topluma sunmak için gerçekleştirdiği yapılar olmuştur. Gaziantep, gayrimüslimler için önemli bir merkez haline gelmiştir. Bunun en önemli sebepleri arasında stratejik konumu ve yüksek ticaret kapasitesidir (Yüce, 2010).



Şekil 2. XIX. yüzyılın son yıllarında Surp Asdvadzadzin Kilisesi ve çevresindeki yerleşimler (Uğurluer, 2008)

4. GAZİANTEP'TE BULUNAN KİLİSELERİN YENİDEN İŞLEVLENDİRME BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma kapsamında incelenilen dört kilisenin üç tanesi şehir merkezinde bir tanesi ise Nizip ilçesinde bulunmaktadır. İncelenilen kiliseler farklı dönemlerde inşa edilmiştir. Kiliseler dönemin ve zamanın sunduğu şartlara bakılarak farklı işlevlere çevrilmiştir. Surp Asdvadzadzin Kilisesi

(Kurtuluş Cami) cami işlevi, Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi) kültür merkezi işlevi, Kendirli Kilisesi (Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü) araştırma enstitüsü işlevine dönüştürülmüş, Nizip Fevkani Kilisesi atıl durumda kalmıştır.



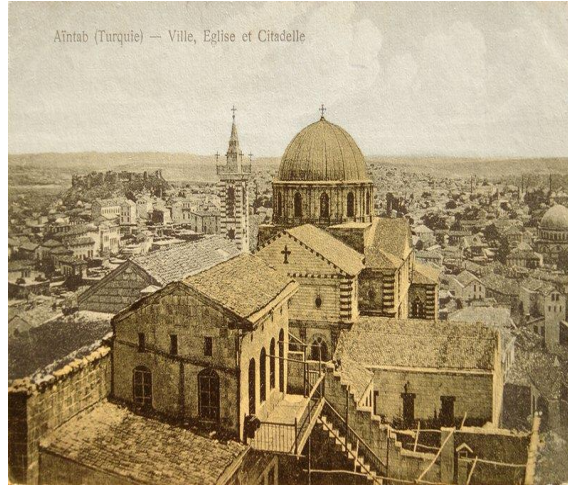
Şekil 3. Gaziantep Şehir Merkezinde Bulunan Yeniden İşlevlendirilmiş Kiliseler

4.1 Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Cami)

Konumu: Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Cami) Gaziantep Şahinbey ilçesi, Tepebaşı Mahallesi, 3 pafta, 101 ada, 1, 2, 3 nolu parsellerde bulunmaktadır. Doğu tarafında Adil Özbek Caddesi bulunmaktadır.

Tarihsel Gelişimi: Şehirde yaşayan Ermeniler ilk olarak kilisenin bulunduğu Hayık Tepesi'nin doğusunda, kayalık bölgede bulunan bir mağarayı dini ibadetlerini gerçekleştirmek için kullanmışlardır. Zaman içerisinde mağaranın batı bölgesindeki kayaların oyulması ve üç tane sütun eklenerek kilise inşa edilmiştir (Hillez, 2016). İnşa tarihi belirli olmayan kilise Canbakal'ın Piskopos Paren Melkonian'a istinaden verdiği bilgilere göre Gaziantep'in XVII. yüzyıldaki ilk önemli Ermeni Kilisesi'dir (Canbakal, 2007). Kilise zaman içerisinde tahribata uğrayıp onarım geçirmiştir. Yapının en son olarak 1873 yılında onarım geçireceği sırada yeni bir kilisenin yapımı kararlaştırılmıştır (Demir, 2021). Bu yapıyı kararlaştırılan kilise Surp Asdvadzadzin Kilisesi'dir.

Surp Asdvadzadzin Kilisesi'nin inşası 1873 yılında başlamış, Osmanlı-Rus Savaşı ve salgın hastalıklar sebebiyle Amerikalıların desteğiyle, gecikmeli olarak 1892 yılında tamamlanmıştır. Kilise, İstanbul'daki yapıları ile ünlü olan Sarkis Balyan tarafından planlanmış, taş işçiliği ise Sarkis Kadehçyan tarafından yapılmıştır (Hillez, 2016). Cumhuriyetin ilanının ardından gayrimüslim nüfusunun şehirde azalması ve yapıların kullanılmaması sonucu yapı ibadete kapatılmıştır (Hillez, 2016).

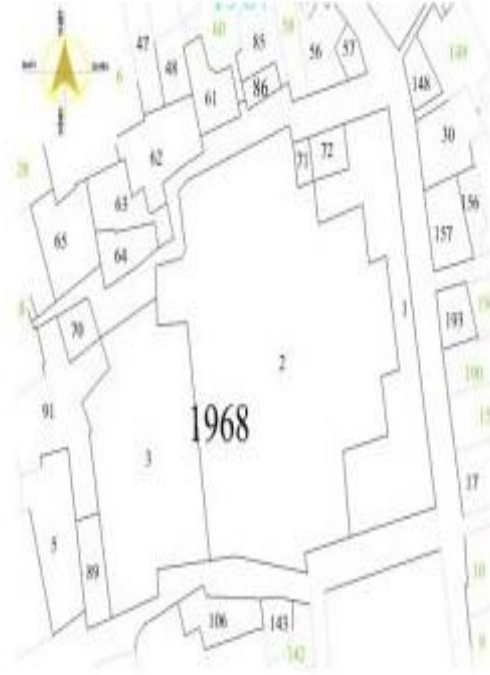


Şekil 4. Kurtuluş Cami (Gaiadergi,2016)

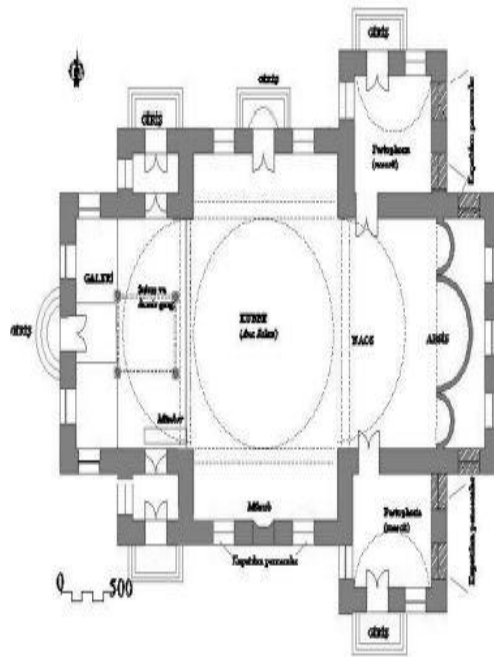


Şekil 5. Kurtuluş Cami

Mimari Özellikleri: Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Cami) katedraldir ve Ermenilerin Gaziantep'te yapmış olduğu en büyük yapıları arasındadır. Yapı gotik üslubu yansıtmaktadır. Dikdörtgen planlı haçvari bir kilisedir. Kilise içerisi 3 bölüme ayrılmıştır. Haçın kolları üstünde, kırma çatı ve alınlık yer alır. İçeride çatı altında çapraz tonozlarla örtülmüştür. Ana mekanın orta kısmı dairesel kasnaklı yüksek kubbelidir (Yarullina, 2015). Kesme taş ile yapılan duvarların üzerinde ilk iki sırada sivri kemerli pencereler, üst kısmında yuvarlak pencereler vardır (Sagır,2014). Malzeme olarak yörede bulunan keymih, havara ve bazalt taşları kullanılmıştır. Yapının çatı örtüsü kırma çatıdır. Güney cephesinde ise sıralı şekilde 3 adet pencere yer almaktadır. Yapıya kuzey ve güney tarafında bulunan kapılarından girilmektedir. Yapının 5 adet kapısı vardır. İki kapısı kuzey, iki kapısı güney, bir kapısı ise batı cephesine bakmaktadır (Yarullina, 2015).



Şekil 6. Vaziyet Planı (Hillez,2016)



Şekil 7. Plan (Hillez,2016)

İşlevsel Özellikleri: Surp Asdvadzadzin (Kurtuluş Cami) birçok işleve çevrilmiş bir tarihi yapıdır. Bu verilen işlevler dönemsel olarak farklılık göstermektedir. Yeniden işlevlendirilen yapının hem çevre, hemde yapı ile bir uyum içerisinde olması gereklidir. Kilise 1930 yılında Adalet Bakanlığı bünyesinde 50 seneye yakın hapisane olarak kullanılmıştır (Kartal, 2015). Hapisane olarak kullanılan yapı hem kullanıcılar için hem de çevre için yanlış bir işlevlendirilme tercihi olmuştur. İçinde pek çok değişiklik yapılması, çok müdahale edilmesi gerektiğinden yapı ağır bir tahribata uğramıştır. İncelenen Surp Asdvadzadzin (Kurtuluş Cami) 1983-1984 yılları arasında camiye dönüştürülmüştür. Günümüzde de cami işlevini sürdürmektedir.

Surp Asdvadzadin Kilisesi'ne (Kurtuluş Cami), cami işlevi verilen kiliselerde görüldüğü gibi birçok ekler ve müdahaleler olmuştur. Kiliseler ve camilerin plan şemaları açısından birçok farklılıkları bulunmaktadır. Kiliseler, doğu batı eksenli olup apsisi doğuya bakar. Camilerin mihrabı ise güneydoğu cephesinde bulunmaktadır. Bu nedenle incelenen Surp Asdvadzadin Kilisesi'nin (Kurtuluş Cami) güney cephesindeki penceresi iptal edilerek mihrap nişi yapılmıştır. Kilise camiye dönüştürülürken yapıya minber ve vaiz kürsüsü eklenmiştir. Kilise döneminden kalan freskler ve resimlerin üzerileri kapatılmıştır. Caminin güneybatı tarafına silindirik gövdeli sivri külahlı yeni bir minare eklenmiştir. Kilise döneminden kalan çan kulesinin gövdesi yıkılarak üzerine güneybatı tarafındaki minare özelliklerini taşıyan ikinci minare yapılmıştır (Güllü & Karabekmez, 2016).



Şekil 8. Kurtuluş Cami



Şekil 9. Kurtuluş Cami

Çan kulesinin dairesel penceresi ve üzerinde kalan yarım daire kemeri günümüzde kapatılmıştır. Ayrıca çan kulesinin etrafında bulunan metal haçlar yerinden sökülüş, güney ve batı cephesinde bulunan haç kabartmaları cami işlevine dönüştürüldüğünden tahribata uğramıştır (Hillez, 2016). Yapının camiye dönüştürüldükten sonra iklimlendirme çözümü klimalarla yapılmıştır. Bu durum yapının içindeki ve dışındaki görüntüyü olumsuz etkilemiştir. Kiliseden camiye çevrildiği dönemde kilisede bulunan motifler ve yazıtlar pencere kasaları içerisinde kaldığı için tahrip olduğu görülmüştür (Demir, 2021). Yapının taş olan zemini, camiye çevrildiği dönemde kible yönüne doğru halı ile kaplanmıştır. Kilise döneminde açık olan bazı pencereler camiye dönüştürülürken dolgu yapılarak kapatılmıştır.



Şekil 10. Kurtuluş Cami



Şekil 11. Kurtuluş Cami

4.2 Kendirli Kilisesi (Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü)

Konumu: Kendirli Kilisesi (Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü) Gaziantep Şahinbey ilçesi, Bey Mahallesi Atatürk Bulvarı üzerinde, 11 pafta, 132 ada, 1 nolu parselde yer almaktadır. Bitişik parselde ise Öğretmenevi bulunmaktadır (Hillez, 2016).

Tarihsel Gelişimi: Kendirli Kilisesi (Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü) 1862 yılında Gaziantep'te bulunan Katolik Ermenileri tarafından inşa edilmiştir. Yapım sırasında maddi yönden etkilenen Ermeniler III. Napolyon'dan maddi destek almıştır (Güllü, 2009). Kilise belli bir süre kullanıldıktan sonra harap olup kullanılamaz hale gelmiştir. Daha sonra 1898 yılında eski kilise yıkılarak yeni kilisenin inşasına başlanmış ve 1903 yılında ibadete açılmıştır (Yüce, 2010). Kilise Roma'da bulunan Saint Fransua Kilisesi'nden esinlenerek inşa edilmiştir. Mimarı Sarkis Usta Karayan'dır. Kilisenin planı Vatikan'dan, papalık makamından gönderilmiştir (Hillez, 2016).



Şekil 12. Kendirli Kilisesi (Hillez, 2016)



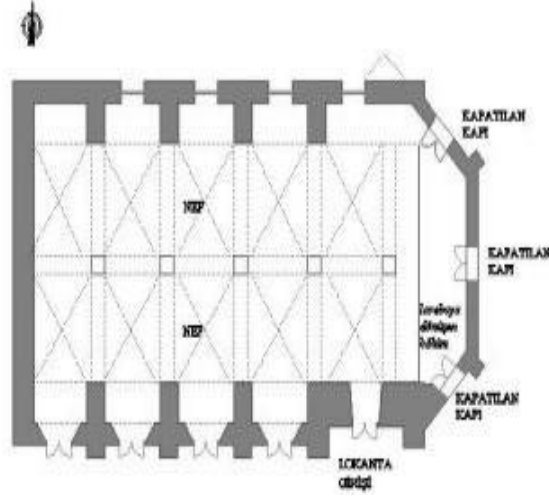
Şekil 13. Kendirli Kilisesi

Mimari Özellikleri: Kendirli Kilisesi (Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü) tek nefli bazilikal plan tipine sahiptir. Yapı malzemesi taş olan yapı, yığma teknik ile inşa edilmiştir. Malzeme olarak bölgede yaygın şekilde bulunan havara, keymih, bazalt taşları kullanılmıştır. Diğer yapı malzemeleri olarak demir ve ahşap kullanılmıştır. Yapının üst çatı örtüsü kırma çatıdır. Yapının zemin katına kuzey ve batı tarafında bulunan kapılardan giriş sağlanmaktadır.

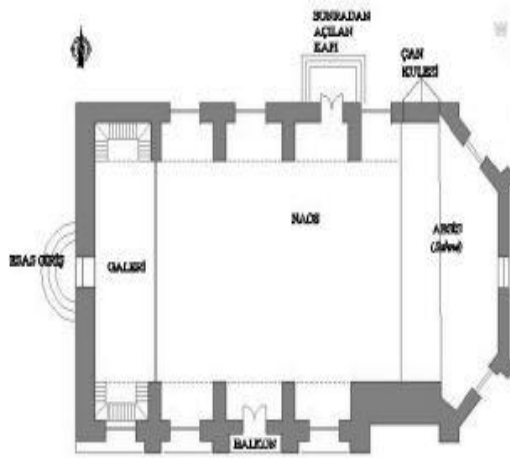
Doğu batı eksenli konumlandırılmış yapı, doğu tarafından apsisin yer aldığı dikdörtgen planlı bir kilisedir. Eğimli bir arazi üzerine inşa edilme nedeni ile doğu ve kuzey cepheleri iki katlı, güney ve batı cepheleri tek katlı görülmektedir. Yapıda bodrum kat mevcuttur. Bodrum katına, yapının

güney cephesinden, yol seviyesinden aşağı doğru merdivenlerle inilmektedir. Bodrum katı kare planlı çapraz tonozludur (Hillez, 2016).

Kilise zamanla işlevsel ve fiziksel olarak bozulmuştur. Bu nedenle yapıya farklı işlevler verilmiştir. 1921 yılındaki Gaziantep harbinde Fransızlar kiliseyi siper olarak kullanmıştır ve bina tahribata uğramıştır (Güllü, 2009). Belirli bir dönem sinema, halkevi, kültür merkezi olarak kullanılan kilise günümüzde yeniden işlevlendirilerek Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü'ne dönüştürülmüştür (Yüce, 2010) .



Şekil 14. Bodrum Kat Planı (Hillez, 2016)



Şekil 15. Zemin Kat Planı (Hillez, 2016)

İşlevsel Özellikleri: Kendirli Kilisesi sinema, lokal, halkevi, kültür merkezi gibi birçok işlevsel değişikliğe uğramıştır. İşlev değişikliğinde oluşan ihtiyaçlar sebebiyle yapıya müdahalelerde bulunulmuştur. Bu müdahaleler sonucunda yapının özgün görüntüsünü etkileyecek değişiklikler olmuştur. Kültür merkezi işlevi olarak verildiği dönemde Kendirli Kilisesi'nde özgün tavan yükseklikleri niteliksiz ekler ile kapatılarak tonoz görünümü yok edilmiştir. Yan duvarlardaki apsiler ve batı cephesi giriş kısmının üst kısmında bulunan pencere kapatılmıştır. Ayrıca çan kulesi yıkılmıştır. Halkevi ve lokal olarak kullanıldığı dönemde, kilisenin alt katında bulunan ıslak hacim malzemelerinin kiliseye uygun olmaması, yemek pişirme esnasındaki sıcaklık ve çıkan buharların sıvalara zarar verdiği görülmüştür. Bu nedenle yapıya uygun bir işlevlendirme olmadığı tespit edilmiştir. (Hillez, 2016). Kilise döneminde bema olarak kullanılan alan yeni ihtiyaçlar

doğrultusunda sahneye dönüştürülmüştür. Kilise duvarlarında bulunan freskler ve duvar resimleri sıva ile kapatılmıştır. Yapıya sonradan eklenen bu niteliksiz eklerin yapının özgün plan şemasını bozduğu görülmektedir.



Şekil 16. Kendirli Kilisesi (Korkmaz, 2021)



Şekil 17. Kendirli Kilisesi (Çekulvakfı, 2017)

Günümüzde yapı, yeniden işlevlendirilerek Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü'ne dönüştürülmüştür. Bu yeni işlev ile kültür merkezi dönemindeki niteliksiz eklerin kaldırıldığı, duvardaki muhdes sıvalar sökülerek özgün duvar resimlerinin ortaya çıkarıldığı görülmektedir.

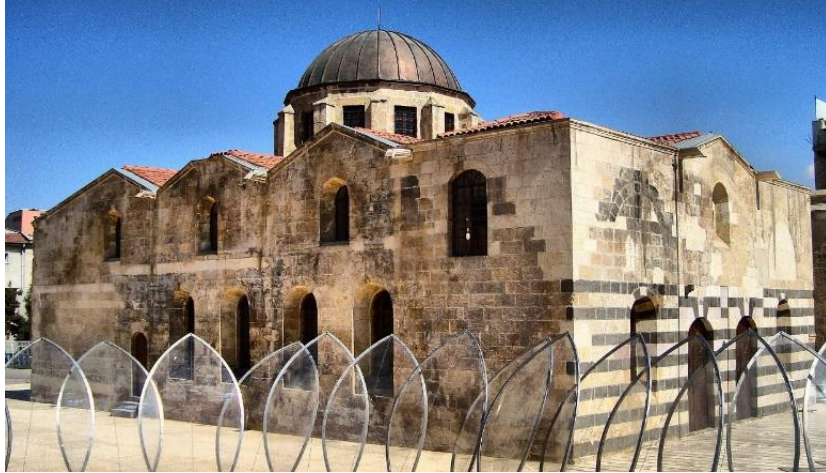


Şekil 18.Kendirli Kilisesi

4.3 Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi)

Konumu: Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi) Gaziantep Şahinbey ilçesi, Tepebaşı Mahallesi, Adil Özbek Caddesi, Soğanlı Bucağı Sokak'ın kesişme noktasında yer almaktadır. Kiliseye batı cephesinden, Adil Özbek Caddesi'nde bulunan merdivenlerle inilerek giriş yapılmaktadır.

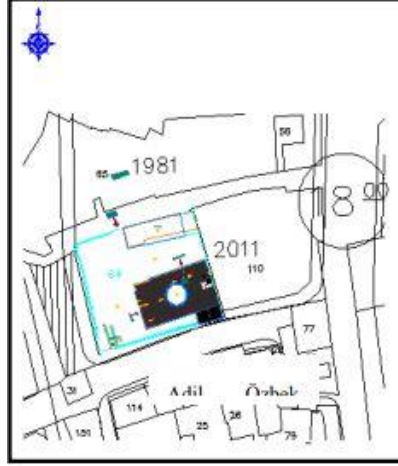
Tarihsel Gelişimi: Aziz Bedros Kilisesi'nin 1723 yılında inşa edildiği tahmin edilmektedir. Kilisenin kitabesinin tahrip edilmesinden dolayı ismi tam olarak bilinmemektedir. Bazı kaynaklara göre 1868 yılında Aziz Bedros Kilisesi olarak inşa edilip ibadete açıldığı, kilise bahçesinde kız ve erkek çocuklar için ilkokul inşa edildiği, daha sonra ise bir iplik fabrikasının depo alanı olarak kullanıldığı belirtilmektedir (Durma, 2015). Bir diğer kaynağa göre kilisenin ilk Katolik Ermeni Kilisesi olduğu, ortaya çıkarılmadan önce bir fabrikanın içerisinde etrafı tamamen evlerle çevrili ve kilisenin kitabesi tahrip olması sebebiyle isim konusunda yanlışlık yapıldığı belirtilmiştir (Yüce, 2010).



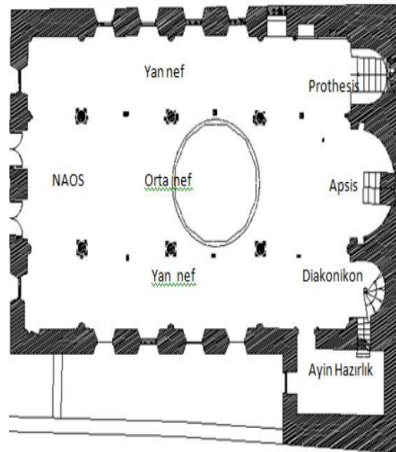
Şekil 19. Aziz Bedros Kilisesi (Cömertel, 2009)

Mimari Özellikleri: Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi) doğu batı eksenli konumlandırılmıştır. Giriş kapısı batı cephesinde olup kiliseye giriş iki eşit ölçüdeki kapılardan sağlanmaktadır. Din adamlarının halkla birlikte aynı kapıyı kullanmaması için kuzey cephesinin batı ucundan giriş sağlanmaktadır. Yapıda çan kulesinin olduğu bilgilerine rastlanmamıştır. 21x13 metre olan kilise, 2 sütun dizisi ile 3 nef ayrılan naos, atrium ve yan koridorlardan oluşan bazilikal planlı bir kilisedir. Narteks bölümü yoktur. Kilisenin giriş kısmında bulunan nişlerin içerisinde ve

pencerelerde haç motifi, melek figürü gibi semgesel işaretler bulunmaktadır. Mekanın iç aydınlatılması için kubbede sembolik değeri olan 12 adet pencere vardır. Kilise yığma yapım tekniği ile inşa edilmiştir. Malzeme olarak inşasında havara taşı, keymih taşı, ahşap, demir, kireç harcı kullanılmıştır. Kilisenin çatısı oluklu kiremitlerle kapatılıp, kubbesi bakır levha ile kaplanmıştır. Kilisenin iç zemin süslemesinde ise pembe mermer ve bazalt taşı kullanılmıştır (Hillez, 2016).



Şekil 20. Vaziyet Planı (Hillez, 2016)



Şekil 21. Aziz Bedros Kilisesi Kat Planı (Hillez, 2016)

İşlevsel Özellikleri: Aziz Bedros Kilisesi (Ömer Ersoy Kültür Merkezi) 2005 yılında yol yapım çalışmaları sırasında ortaya çıkmıştır. Kilisenin iplik fabrikasının deposu olarak kullanıldığı dönemde güney girişi muhdes bir taş duvarla kapatılmıştır. Ayrıca o dönemde kat yüksekliğinden yararlanarak taşıyıcı sütunlara muhdes ahşap strüktür oturtulmuş ve galeri katı oluşturulmuştur. Böylece daha fazla eşya depolanması sağlanmıştır. Bazı açıklıklar moloz taş örgülerle kapatılmıştır. Bilinçsiz kullanıcılar tarafından yapı içerisinde yakıcı maddeler sebebiyle iç duvar sıvalarında kararmalar olmuş, sıvada bozulmalar meydana gelmiştir.



Şekil 22. Aziz Bedros Kilisesi (Gaziantephaberler, 2008)



Şekil 23. Aziz Bedros Kilisesi

2008 yılında restorasyonu yapılan Aziz Bedros Kilisesi, bulunduğu konum ve toplumsal yapısından dolayı tekrardan kilise işlevi verilemediğinden kültür merkezine çevrilmiştir. İnsanların müzik, tiyatro, söyleşi, düğün gibi organizasyonlar için geldiği zamanlarda yapıya zarar verilmemesi ve birçok faaliyette kullanılması için sabit sahnesi ve oturma elemanları yapılmamıştır. Böylece yapıya zarar verilmemiş ve birçok sosyal ve kültürel aktivitenin kullanabileceği çok amaçlı bir mekan haline gelmiştir. Kilise girişine asılan niteliksiz reklam panoları ve yapının iklimlendirmesi için kullanılan iklimlendirme elemanlarının iç ve dış cephe görüntüsünü bozduğu görülmektedir. Yapının kültür merkezi olarak kullanılması bir önceki işlevine göre yapıyı daha sürdürülebilir bir mekan haline getirmiştir.



Şekil 24. Aziz Bedros Kilisesi



Şekil 25. Aziz Bedros Kilisesi

4.4 Nizip Fevkani Kilisesi

Konumu: Nizip Fevkani Kilisesi Gaziantep Nizip ilçesi, Fevkani Mahallesi, Bahçe Sokak, 542. Ada, 3. Parsel üzerinde bulunmaktadır. Çevresinde konut, sağlık ocağı ve çocuklar için oyun alanı bulunmaktadır.

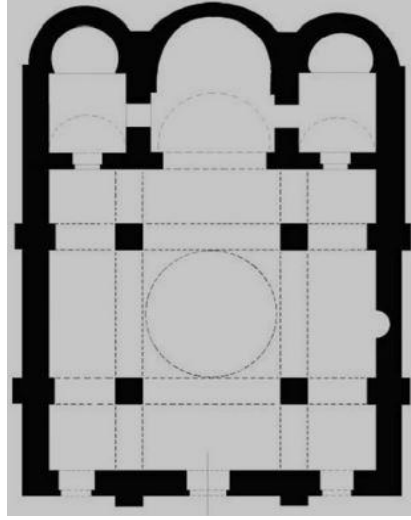
Tarihsel Gelişimi: Nizip Fevkani Kilisesi inşa tarihi tam olarak bilinmesede mimarisi ve yapı tarzına bakılarak VI. yüzyılda, Bizans döneminde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Fakat vakıf kaynaklarında inşa tarihi XI-XII. yüzyıl olarak geçmektedir (Gaziantep İlçeleri Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Envanteri, 2007). 1800'lü yıllarda camiye çevrilen yapı bir asıra yakın cami olarak kullanılmıştır. 1888 yılında inşa edilen Şihlar Cami ve 1904 yılında Molla Ahmet Cami'nin inşa edilmesinden sonra kilise atıl durumda kalmıştır. 1970 yılında belediyeye ait depo olarak kullanılan yapı, 1971 yılından sonra ise tek el idaresine kullanılması için kiraya verilmiştir (Eker, 2006).



Şekil 26. Nizip Fevkani Kilisesi (Aintapdata,2018)

Mimari Özellikleri: Nizip Fevkani Kilisesi 19x14.40 metre ebatlarında bir yapıdır. Kiliseye batı cephesinin ortasında bulunan dikdörtgen formlu bir kapıdan girilmektedir. Kapının sağ ve sol kısmında bulunan pencereler, kapı ile aynı formda olup yuvarlak kemer alınlıklıdır. Kapının üst kısmında yuvarlak kemerli iki adet pencere bulunmaktadır.

Kilise dikdörtgen kapalı Yunan Haçı plan tipine sahiptir. Haçın kolları dışarı doğru üçgen alınlık şeklinde inşa edilmiştir. Kilisenin apsisi yarım daire olarak dışarı çıkıntılıdır. Yapının kubbesi iç tarafı kireç taşı, dışı ise kurşun ile kaplanmıştır. Kilisenin kubbe kasnağında 4 adet pencere yapılarak mekan aydınlatılmıştır. Güney cephesinde yer alan büyük pencere kapatılarak mihrap yapılmıştır. Mihrap çok derin olmamakla birlikte sivri kemerlidir. Mihrap süslemesi bulunmamaktadır. Yapı malzemesi olarak bölgede bulunan havara, keymih, kesme taşları kullanılmıştır (Eker, 2006).



Şekil 27. Nizip Fevkani Kilisesi Planı (Eker, 2006)



Şekil 28. Nizip Fevkani Kilisesi Planı (Eker, 2006)

İşlevsel Özellikleri: Nizip Fevkani Kilisesi belirli dönemlerde işlem değişikliğine uğramış, günümüzde atıl durumda kalmış bir tarihi kilisedir. Halkın depo olarak kullanması sebebi ile kilise ağır tahribata uğramıştır. Depo olarak kullanıldığı dönemlerde kilisenin belirli kapı ve pencereleri niteliksiz yapı elemanları ile uygun olmayan biçimde kapatılarak yapıya zarar verilmiştir. 1800'lü yıllarda cami olarak kullanıldığı dönemde güneydoğu yönündeki pencerenin kapatılarak mihrap

yapıldığı görülmüştür. 2010 yılında camiye dönüştürülmesi için girişimde bulunan idareciler, bölge halkının tepkisiyle karşılaşarak bu düşünceden vazgeçmişlerdir. Tarihi kilisenin korunması ve ilçe turizmüne katkı sağlaması amacı ile imza kampanyası başlatılmış olup Gaziantep Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından restorasyonu yapılmıştır. Restorasyonu yapılan kilise aktif kullanılması için bir dönem Nizip Engelliler Derneği'ne devredilmiştir. Fakat kullanıcılar için uygun bir mimariye sahip olmayan yapı terk edilerek tekrardan işlevsiz hale gelmiştir. Atıl hale gelen yapı çevredeki bilinçsiz kullanıcılar tarafından pencere ve kapıları kırılarak ağır bir tahribata uğramıştır. Aşırı korumacı yaklaşım ve uygun olmayan işlevlendirme sonucunda yapıya zarar geldiği görülmüştür. Yapının kullanılmaması ve bakımsızlık nedeni ile yapı ömrü azalmaktadır.

7. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMA

Kültür varlığı olarak korunan bu dört kilisenin ibadet yapısı olarak işlevlendirilmesi ve bu işleve uygun olarak kullanılması kamusallığın ön planda tutulmasından kaynaklanmaktadır. Bunun örneği Surp Asdvadzadzin Kilisesi'nin cami olarak işlevlendirilmesinde de görülmektedir. Yapı eski ve yeni işlev olarak ibadet yapısı şeklinde kullanılmaktadır. Her iki işlevde de tek mekana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple diğer işlevlendirilen yapılara göre plan bütünlüğünün korunduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca ibadet yapısının kutsal bir mekan olması sebebi ile kullanıcıların diğer yapılara göre dikkatli olduğu ve daha az zarar verdiği görülmektedir. Bir diğer yeni işlev olarak kültür merkezine çevrilen Aziz Bedros Kilisesi'nde ise yapının faaliyet çeşitliliğinin ve kullanıcı yoğunluğunun (sergi, düğün, konser vb.) diğer yapılara göre fazla olması neticesinde, bilinçsiz kullanıcılar tarafından tahribata uğradığı görülmüştür. Ayrıca bu faaliyetlerin gösterimi için asılan reklam afişlerinin cephe algısını yok ettiği tespit edilmiştir. Kendirli Kilisesi Gaziantep'te yeniden işlev verilen en son kilisedir. Yapının yeni işlevi "Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü" olarak kullanılması planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Yeni işlevdeki kullanıcıların arkeoloji ve kültürel miras ile bağlantılı olmaları, koruma bilinci edindikleri düşünüldüğünden yapının hem güncel kullanımı hem de geleceğe aktarımı açısından olumlu yönde etkilediği görülmüştür. İşlev değişiklikleri arasında atıl durumda kalan Nizip Fevkanı Kilisesi, yapıya sadece işlev verilmesinin yeterli olmayacağı, çağdaş yaklaşımla işlevin yapı ile kullanıcı arasında önemli bir köprü olduğunu atıl durumda kalarak kullanıcılara göstermektedir. Bu değerlendirmelere göre yapının sürdürülebilir olması için çevre, mimari, plan, kullanıcı özellikleri dikkate alınarak en az müdahale yöntemi ile yeni işlev verilmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Gaziantep Şehir Merkezinde Bulunan Kiliselerin Genel, Mimari ve İşlev Özelliklerinin Kıyaslandığı Tablo

Gaziantep Şehir Merkezinde Bulunan Kiliselerin Özelliklerinin Kıyaslandığı Tablo		Genel Özellikler					Fiziksel Özellikler					Mimari Özellikler		
Günümüz Adı	Ada/Parsel	Bulunduğu İlçe	Kilise Adı	Yapıldığı Dönem	Mezhep	Günümüz Durumu	Çevrilme Dönemleri	Yapıların Farklı İşlevleri	Bozulmalar	Bütünlük	Plan Tipi	Malzeme	Örtü Sistemi	
1	Kurtuluş Camii 101 Ada 1,2,3 Parsel	Şahinbey	Asdvadzadzin Kilisesi	1892-1893	Gregoryen	Cami	1983-1984	Hapishane	Sonradan Kapatılan Pencere, Yıkılan Çan Kulesi, Kapatılan Duvar Motifleri	+	Katedral	Kesme Taş	Kubbe Kırmızı Çatı	
2	Kendirli Kilisesi 132 Ada 1 Parsel	Şahinbey	Terra Santa	1896-1900	Katolik	Enstitü	2021	Sinema, Lokal	Savaş Döneminde Taş Yüzeyinde Malzeme Kaba, Yıkılan Çan Kulesi,	+	Bazilikal	Kesme Taş	Kırmızı Çatı	
3	Ömer Ersoy Kültür Merkezi 2011 Ada 64 Parsel	Şahinbey	Aziz Bedros	1723	Katolik	Kültür Merkezi	2005	Depo	Dış Cephe Duvarlarında Bitkilendirme, Çatlama, Zemin Döşemelerinde Bozulma	+	Bazilikal	Kesme Taş	Kubbe Kırmızı Çatı	
4	Nizip Fevkanı Kilisesi 542 Ada 3 Parsel	Nizip	Veftane	12.YY	Ortodoks	Atıl	-	Depo	Duvarlarda Bitkilendirme, Çatlama, Zemin Döşemelerinde Çatlama, Sonradan Kapatılan Pencere	+	Bazilikal	Kesme Taş	Kubbe Kırmızı Çatı	

7. SONUÇ

Gaziantep kenti için tarihsel öneme sahip olan kiliseler zaman içerisinde günümüz ihtiyaç ve değişimlerini geleceğe aktarabilmek için yapılara yeni işlevler verilmiştir. Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesindeki amaç yapıyı atıl ve işlevsiz durumdan kurtararak sürdürülebilir ve yaşayan bir yapı haline getirmektir. Yapıların yeniden işlevlendirilme sürecinde; yapının konumu, mekansal kurgusu, çevre ile olan uyumu ve ekonomik etkenler ile değerlendirilerek yeniden işlevlendirilmelidir. Bu etkenlerin yeniden işlevlendirilme neticesinde değerlendirilmemesi bazı sorun ve problemlere yer açmaktadır.

Bu makale kapsamında; Gaziantep şehir merkezinde ve Nizip ilçesinde bulunan 4 adet kilisenin tarihçeleri, literatür taramaları, koruma projeleri incelenerek, alan çalışması ile yapılan müdahaleler gözlemlenmiş olup bu doğrultuda olumlu ve olumsuz yönde değerlendirilmiştir.

Gaziantep'te bulunan kiliseler sahip olduğu işlevden farklı bir işleve dönüştürülürken yeni işleve bağlı olarak nitelikli ve niteliksiz ekler ile kullanım sorunlarının ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Günümüzde Kurtuluş Cami olarak bilinen Surp Asdvadzadzin Kilisesi günümüze kadar farklı amaçlarla kullanılmıştır. Kilise bir dönem hapishaneye dönüştürülmesi sebebi ile bu sırada çıkan isyanlardan dolayı bazı bölgelerinde özgün hasarlar meydana gelmiştir. Kilise hapishane işlevinden sonra camiye dönüştürülmüş Gaziantep'in mimari çeşitliliğine katkı sağlamıştır. Yapının özgün planında çok büyük bir değişiklik olmamıştır. Ancak içerisinde yeni işlev sonrasında oluşan ihtiyaçlar nedeniyle bazı değişiklikler yapılmıştır. Bunun sebebi ise kilise ve caminin farklı özellikler içeren dini yapılar olmasıdır. Camiye dönüştürüldüğünde kilisenin çan kulesi kaldırılıp yerine nitelikli ek olarak minareler eklenmiştir. Mihrap yönünde bulunan pencere iptal edilerek mihraba dönüştürülmüş ve ahşap minber eklendiği görülmüştür. Kilisenin camiye dönüştürülmesi, yapının ana hatları ile özgün bir şekilde korunmasını sağlamıştır. Yapının cami işlevine çevrilmesi şehrin sembolik bir değeri haline getirmiştir.

Kendirli Kilisesi de şehirde bulunan diğer kiliseler gibi farklı işlevlere çevrilmiştir. Bu işlevlendirmeler arasında kilisenin zemin katının lokal ve halkevi olarak kullanıldığı dönemde ıslak hacimlerin yapıya uygun olmayan niteliksiz ekler kullanılmasının ve yemek pişirme esnasında çıkan buharların yapıya zarar verdiği görülmüştür. Kültür merkezine dönüştürüldüğü dönemde ise yapının tavanı niteliksiz eklerle kapatılıp mekan algısını yok edilmiştir. Yapıdaki özgün kalem işleri ise sıva ile kapatılmıştır. Giriş kapısının hemen üzerine yapılan platform ve yapıya sahne yapılması yapının plan şemasını görsel olarak etkilemiştir. Son dönemde yapılan restorasyon çalışmasından sonra kültür merkezi işlevinden Türk Arkeoloji ve Kültürel Miras Enstitüsü'ne dönüştürülmüştür. Bu aşamada yapıda bulunan niteliksiz ekler kaldırılarak yapının özgün katmanları ortaya çıkmış olup eski görüntüsüne kavuşmuştur. Bu da yerel yönetimin tarihe verdiği önemi göstermektedir. Yapının enstitü işlevine dönüşmesi şehrin eğitimine ve kültürüne katkı sağlayacağı görülmektedir.

Aziz Bedros Kilisesi bir dönem iplik fabrikasının depo alanı olarak kullanılmıştır. Daha fazla eşya depolamak için yapının içerisinde kat yüksekliğini değerlendirilerek muhdes ekler yapılmış ve yapıya zarar verildiği görülmüştür. Bilinçsiz kullanıcılar tarafından kilise içerisinde yakıcı maddeler kullanılması sonucunda yapı duvarlarında zararlar meydana gelmiştir. Yapı fabrikanın içerisinde duvarlarla çevrili kaldığından ana hatları ile korunmuştur. 2008 yılında restorasyon geçiren yapı yeni işlev olarak kültür merkezine dönüştürülmüştür. Sosyal ve kültürel faaliyetler için kullanılan yapı içerisine sabit olmayan oturma elemanları kullanılarak çok yönlü bir merkez olması sağlanmıştır. Kültür merkezi mekansal potansiyelinin yeni işlev için yeterli olduğu görülmektedir. Yapının özgün fiziksel kurgusu korunmuştur. Kültür merkezine dönüştürülmesi sebebi ile yapının kullanıcılar ve çevreye katkısı artmış ve sürdürülebilir bir mekan haline gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen kiliseler aşırı korumacı yaklaşımla sadece onarılıp hiçbir müdahale edilmeden işlevsiz bırakılması o yapının yıpranması ve atıl halde kalarak yapının ömrünü azaltmaktadır. Bunu en açık şekilde Nizip Fevkani Kilisesi'nde görmekteyiz. Yapının restorasyonu yapıldıktan sonra işlevsiz kaldığından, bilinçsiz kullanıcılar tarafından kilise tahribata uğrayarak atıl durumda kalmıştır.

Sonuç olarak zaman içerisinde farklı işlevlere dönüştürülen kiliselerin yanlış işlevlendirme sonucunda yapılarda bozulmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Kiliselere yeni işlev verilmeden önce yapının özgünlüğünü bozmayacak şekilde müdahaleler gerektiği gözlemlenmiştir. Yeniden işlevlendirilen yapıların sürdürülebilir ve yapıya zarar gelmemesi için yeni işlevin yapıya ve çevreye uygun olması gerekmektedir. Kiliselerin farklı işlevlere çevrilme sonucunda yapı üzerindeki nitelikli ve niteliksiz eklerde değişkenlik gösterildiği görülmüştür. Yapının işlev değişikliklerinde yapılacak müdahalelerin geri alınabilecek şekilde olması gerekmektedir. Yapılara verilen işlevin, yapıyla uyumlu olmaması ve aşırı korumacı yaklaşımının yapıya zarar vererek atıl durumda kaldığı gözlemlenmiştir. Yapıların atıl duruma gelmemesi ve yaşayan mekanlar haline getirmek için uygulanan yeniden işlevlendirme müdahaleleri önemli bir etken olduğu görülmüştür. Tüm bu hususlara dikkat edilerek yapılan koruma yaklaşımı ile yapıların yaşanabilirliğinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır. Bu çalışmada Fernaz ÖNCEL fikir, eleştiri, kritik, yazım dili, makalenin ana çatısının kurulması ve sınırların belirlenmesi konusunda katkıda bulunmuştur. Enes HACIARAP araştırma, veri toplama, analiz, yorum, kaynak taraması, makalenin yazımı ve çizimler konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Ahunbay, Z.(2009). Tarihi çevre koruma ve restorasyon, *YEM Yayınları*, İstanbul.

AintabData. (2018). Nizip Fevkani (Veftane) Kilisesi. Antep Verileri. <https://www.aintabdata.com/2018/07/31/nizip-fevkaniveftane-kilisesi/> adresinden 06 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.

Altınoluk, Ü. (2008). Binaların yeniden kullanılması, *YEM Yayınları*, İstanbul.

Canbakal, H. (2007). Society and politics in an Ottoman town: 'Ayntab In The 17th Century. *Brill*, Netherlands.

ÇEKÜL, (2013). Gaziantep bir kültür merkezi daha kazandı. <https://www.cekulvakfi.org.tr/haber/gaziantep-bir-kultur-merkezi-daha-kazandi> adresinden 06 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.

- Demir, E. (2021). Ayıntab’da bir cami kilise: Surp Asdvadzadzin Kilisesi (Kurtuluş Cami). *Ortadoğu ve Göç*, 11(1), 111-132.
- Durma, A. 2015. Evliyalılar Şehri Gaziantep. *Erol Yayıncılık*. Samsun.
- Eker, H. (2006) *Nizipteki mimari eserler*. [Yüksek lisans tezi]. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van.
- Gaiagadergi, (2016). Surp Asdvadzadzin Katedrali. <https://gaiadergi.com/foto-2-surp-asdvadzadzin-katedrali%CC%87/> adresinden 01 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Gengeç. E. (2016). *Kiliseden camiye çevrilen yapılar*, [Lisans tezi], Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Denizli.
- Gül, G. (2005), *Gaziantep ili Bey (Kayacık) mahallesi geleneksel doku koruma ve geliştirme önerisi*, [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi], Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Güleken, Ö. N., & Ünal, Z. G. (2018). Gaziantep Kendirli Kilisesi ve Latin Okulu koruma ve restorasyon önerisi. *International Journal of Social and Humanities Sciences*, 2(1), 83-105.
- Güllü, R.E. (2009) . *Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Gaziantep Ermenileri*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Güllü, H., & Karabekmez, M. (2016). Gaziantep Kurtuluş camisinin deprem davranışının incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 455-470.
- Hillez Halifeoğlu S. (2016) *Güneydoğu anadolu bölgesinde bulunan ermeni kiliseleri koruma ve kullanım durumları*, [Yüksek lisans tezi], Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- İLKHA. (2021). Gaziantep’in Ayasofya’sı: Kurtuluş Camii. İlke Haber Ajansı. <https://ilkha.com/kultur/gaziantep-in-ayasofya-si-kurtulus-camii-160423> adresinden 06 Ocak 2022 tarihinde alınmıştır.
- Kanalıcı K. A. (2012). *Geleneksel Gaziantep evleri yapı üretim analizi*. Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Lefkoşa.
- Kartal, M. (2015). *Gaziantep şehrinde rekreasyonel faaliyetlerin dağılışı* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kar, D. (2020, Ağustos 31). Ayasofya’nın maketi, Kurtuluşun Camisi Murat Uçaner: Din sömürüsünün sebebi halkları daha iyi yönetmek. <http://yenie.net/ayasofyanin-maketi-kurtulusun-camisi-murat-ucaner-din-somurusunun-sebebi-halklari-daha-iyi-yonetmek/> adresinden 01 Şubat 2022 tarinde alınmıştır.
- Kiper, H. P. (2006), Küreselleşme sürecinde kentlerin tarihsel kültürel değerlerinin korunması, Türkiye Bodrum örneği, (1. Baskı), *Sosyal Araştırmalar Vakfı Yayını*, İstanbul.
- Madran, E. (2002). Tanzimat’tan cumhuriyete kültür varlıklarının korunmasına ilişkin tutumlar ve düzenlemeler. *ODTÜ Yayınları*. Ankara.

- Pekol, B. (2010), *İstanbul'da yeni işlevlerle kullanılan tarihi yapıların üslup sorunsalı*, [Yayınlanmamış Doktora Tezi], İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Pralong, A. (Ed.) (2011). Bizans: yapılar, meydanlar, yaşamlar. (Institut français d'études anatoliennes). *IFEA/Kitap yayınevi*, İstanbul.
- Sagır, G. (2014). Kars'ta bir ortaçağ ermeni kilisesi: Taylar Kilise, *TurkishStudies*. 9(10), 929-940
- Tatlıgil, F. (2005). *Gaziantep kentinin geleneksel konut dokusunun ve sosyo-kültürel yapısındaki değişimin incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Turanlı, A., & Satıcı, B. (2021). Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi: Hayriye Hanım Konağı Örneği. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(1), 73-95.
- T. C. Resmî Gazete (1983), Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu, 23 Temmuz 1983 <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/18113.pdf> adresinden 01 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Uğursal, S. (2011) *Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi: İzmir Sümerbank basma sanayi yerleşkesi örneği*, [Yüksek lisans tezi], Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Ünal, G. (1998). *Tarihi çevre korumanın bilgisayar destekli bilgi sistemleriyle hazırlanması ve bunun Gaziantep kentsel sit alanında örnekleme*. [Doktora tezi] Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Ünlü, B. & Ünver, R. (2019). İşlevi değişen yapılarda aydınlatma- Myrelaion Sarnıcı, 1. Mimarlık ve Şehircilik Lisansüstü Sempozyumu, *YTÜ Mimarlık Fakültesi*, s.54, İstanbul.
- Venedik Tüzüğü (1964), Uluslararası Tarihi Anıtları Koruma Kuralları. http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf adresinden 01 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Yarullina Yıldırım, R. (2015). Gaziantep'te yazar ve şairler. R. Yarullina Yıldırım içinde, Fırat'tan Volga'ya medeniyetler köprüsü (s. 177-191). *Adıyaman Üniversitesi Yayınları*. Adıyaman.
- Yırcalı, F.S (2019). *İşlev değişikliğinin Balıkesir'deki tarihi yapılar üzerindeki etkilerinin araştırılması*. [Yüksek lisans tezi], Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Yüce B. (2010), *Osmanlı son dönemi ile erken cumhuriyet dönemi arasında Gaziantep'te mimari dokunun değişimi*. [Yüksek lisans tezi], İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zeren, M. T. (2010). Tarihi çevrede yeni ek ve yeni yapı olgusu. *Yalın Yayıncılık*. İstanbul.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

ÇEVRE KOŞULLARININ ANITSAL YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ*

THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON MONUMENTAL BUILDINGS

Halil İbrahim SAĞDIÇ¹

Leyla SURİ²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1150403>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
hisagdic@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
28.07.2022

Kabul Tarihi / Accepted
09.09.2022

Öz

Anıtsal yapılar, bir kentin yerleşme kimliğinin ana öğelerinden birini oluşturmaktadır. Çeşitli türdeki anıtsal yapılar, bulunduğu bölgenin ekonomik, sosyolojik, politik vb. geçmişini gösterebilmekte, bu açıdan da korunmaları büyük önem arz etmektedir. Çevre koşullarının, özellikle bakımsız kalmış anıtsal yapılarda, yıkıcı etkileri olmaktadır. Çalışma kapsamında, çevresel koşulların anıtsal yapılara etki türleri iklimsel, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırıldıktan sonra, araştırma kapsamında yapı malzemelerinde nasıl hasar oluşturdukları araştırılmıştır. Çalışmanın devamında bozulmaların anlatıldığı yapı malzemelerinden birer yapı örneği seçilerek bu yapılar çalışma kapsamında incelenmiştir. Son olarak da çalışmadan çıkarılan sonuç ve önerilerle çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anıtsal yapı, çevresel etkiler, fiziksel etkiler, yapıda bozulmalar.

Abstract

Monumental structures, constitute one of the main elements of the settlement identity of a city. Various monumental structures of the region, economic, sociological, political, etc. they can show their past, and in this respect it is of great importance to protect them. Environmental conditions have devastating effects especially on neglected monumental structures. Within the scope of the study, after the effects of environmental conditions on monumental structures were classified as climatic, physical, chemical and biological, it was investigated how they damaged building materials within the scope of the research. In the continuation of the study, a building sample was selected from the building materials in which the deteriorations were explained and these structures were examined within the scope of the study. Finally, the study was completed with the conclusions and recommendations drawn from the study.

Keywords: Environmental effects, monumental structure, physical effects, structural deterioration.

*Bu yayın Halil İbrahim SAĞDIÇ isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye.
hisagdic@hotmail.com, Orcid.org/0000-0001-5492-9745.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Lisans Programı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye.
lsuri@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3225-1221.

1. GİRİŞ

Kentler, tarihsel süreçte toplumsal ve kültürel değişimleri biçimlendirmiş, nüfus yapısı ve iktisadi açıdan çeşitlilik içeren yaşam alanları olmuşlardır (Oğurlu, 2014). Kentler, aynı zamanda, ilk kuruldukları zamanlardan itibaren her alanda gelişmenin itici gücü rolündedirler. Fikir, sanat ve teknoloji alanlarındaki gelişmeler kentlerin büyümesini ve gelişmesini sağlamıştır. Gelişen ve kalabalıklaşan kentlerde çeşitli uzmanlık dalları gelişmiş ve ihtiyaçlar çeşitlenmiştir. Çeşitlenen ihtiyaçlar doğrultusunda, farklı işlev alanları barındıran yapılara gereksinim duymuştur. Yıllar içinde büyüyen kentlerde tapınaklar, siyasi anlam ifade eden yapılar, sanayi yapıları, kültürel ve diğer toplumsal ihtiyaçları gideren bina ve anıtlar yapılmıştır. Bu tür yapıların sürekli bakım görmesi gerekmektedir, aksi durumda çevre koşulları, yapıda yıpratıcı etkiler bırakabilmekte, ilgisizliğin devamı ise yapının dolayısıyla kültür mirasının yok olmasına neden olabilmektedir.

Anıtsal yapılar, genellikle merkezi otoritenin özelliklerini yansıtan büyük programlı yapılardır. Bu yapılar döneminin mimari üslubunu, yapım tekniğini, estetik anlayışını, ait olduğu cemiyetin sosyo-kültürel, iktisadi ve siyasal niteliklerini gösteren eserlerdir (Asatekin, 2004).

Çevre koşulları, iklimsel faktörler ve canlı faaliyetleri sonucu meydana gelen etkiler olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, dış etkenler (Ahunbay, 2017) de yapılarda hasara neden olan çevresel etkiler kapsamı içine alınmıştır.

Bu çalışmada, yapıya etki eden çevresel koşulların, yapılara hangi türden etkilerle hasar verebildikleri araştırılmıştır. Çevresel etkiler, iklimsel, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılmış ve açıklanmıştır. Yapı malzemeleri ise kökenine göre ahşap, metal, taş ve toprak olarak dört sınıfa ayrılmış, her bir yapı malzemesi türü incelenip, çevresel koşulların yapıda oluşturduğu hasarlar açıklanmıştır. Çalışmanın ana konusu olan anıtsal yapıların çevresel koşullardan etkilenmeleri örnek yapılar üzerinden incelenmiştir.

Ahşap yapı sistemi için seçilen anıtsal yapı Büyükada Rum Yetimhanesi'dir. Vallaury tarafından 19. yüzyılda inşa edilmiştir. Başlangıçta otel ve kumarhane olarak kullanılmak istenmiştir. Eğlence mekânı olarak işletilmesine izin verilmediği için faaliyete geçmemiş, daha sonra satışa çıkarılmış ve nihayetinde Rum Patrikhanesine bağışlanarak yetimhane olarak kullanılmıştır. Avrupa'da bulunan en büyük ahşap konstrüksiyonlu yapıdır. Büyükada Rum yetimhanesi şu an bakımsızlık ve çevresel koşulların etkisiyle, oldukça harap durumda ve yıkılma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Yapı yukarıda bahsedilen özelliklerinden dolayı seçilmiştir. Metal yapı örneği olarak Sveti Stefan Kilisesi seçilmiştir. Türkiye'de başka bir örneği olmayan anıtsal yapı, yedi yıl süren geniş çerçeveli bir restorasyondan geçmiştir. Restorasyon aşamasında çevresel faktörlerin yapıyı ne derecede etkilediği görülmüş ve bu çalışmada da restorasyon aşamasında elde edilen verilerden faydalanılmıştır.

Taş kökenli malzemenin kullanıldığı Arap Han, mekân kurgusu ve cephe özellikleri açısından farklı özellikler göstermesi nedeniyle seçilmiştir ve çevresel koşulların etkileri bakımından incelenmiştir. Toprak kökenli malzemenin kullanıldığı yapılar için kerpiç malzemenin bol kullanıldığı tarihöncesi bir yerleşim yeri olan Kuruçay Höyük seçilmiştir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı çevresel koşulların anıtsal yapılarda hangi etkiyle hasar oluşturduklarını araştırmaktır. Mimari restorasyonda, hasar almış tarihi yapıların sürdürülmesine yönelik çok sayıda araştırma yapıldığı görülmektedir. Bir yüksek lisans tezinde atmosferik korozyonun metal yapı malzemelerindeki etkisi araştırılmıştır (Doğan, 2006). Bir başka yüksek lisans tezinde, doğal kireçtaşındaki bozulmalar ve taşın korunması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır (Sarıçamlık, 2021).

Kerpiçten inşa edilen yapıların mimari nitelikleri ve koruma sorunları üzerine hazırlanan yüksek lisans tezinde, araştırma örnek bir yapı incelenerek yapılmıştır (Şener 2012). Korozyon türleri ve korunma yöntemleri ile ilgili yapılan yüksek lisans tezinde, özel olarak alüminyum oksit tabakasının geliştirilmesi konusunu işlemiştir (Çatal, 2007). Bir doktora çalışmasında da tarihi yapılarda kullanılan volkanik bir tüf olan od taşının bozulma morfolojisi araştırılmış ve konservasyonu ile ilgili çalışma metodu geliştirilmiştir (Özgünler, 2007). Restorasyon çalışmalarında kullanılan çağdaş tekniklerin araştırıldığı yüksek lisans çalışmasında, yapı malzemelerindeki bozulmalar ve müdahale yöntemleri örnekler üzerinde açıklanmıştır (Zakar, 2013).

Yapılan literatür araştırmaları göstermiştir ki, tarihi yapılardaki bozulmaları, müdahale yöntemlerini ve restorasyonları kapsam dahiline almış birçok çalışma vardır. Yapılan çalışmalar genelde tek malzeme bazında özelleşmiştir. Bu çalışmada ise dört ayrı yapı malzemesi araştırılmış ve yapılmış önceki çalışmalardan ayrı bir şekilde her bir yapı malzemesi ile ilgili birer anıtsal yapı incelenmiştir. Bu araştırma yapılırken, mimarlık, arkeoloji, inşaat ve kimya mühendisliği, gibi bilimlerden faydalanılarak çok disiplinli bir bakış açısı oluşturulmuş ve anıtsal yapı örneklerini, çevre bilimi yaklaşımıyla inceleyen bir çalışma yapılmıştır.

2. ÇEVRESEL KOŞULLARIN YAPIYA ETKİ TÜRLERİ

Çevre koşullarının, yapı elemanlarına olan etki türleri yukarıda da belirtildiği gibi iklimsel, fiziksel, kimyasal ve biyolojik nedenler olarak sınıflandırılmıştır. İklimsel etkiler sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem gibi meteorolojik olaylar sonucunda ortaya çıkan ve yapılara hasar verebilen etkilerdir. Fiziksel etkiler yapı malzemelerinin moleküler yapısında herhangi değişime neden olmamakla birlikte malzemenin bütünlüğünü koruyamamasına sebep olarak hasarların oluşmasına neden olmaktadır. Kimyasal etkiler ise yapı malzemelerini moleküler düzeyde etkileyerek hasar oluşturur. Biyolojik etkenler ise canlı faaliyetlerinden kaynaklanan hasarlardır.

2.1. İklimsel Etkiler

İklim, bir bölgede yaşanan meteorolojik olayların, uzun yıllar ortalamasını ifade etmektedir. Yapılarda hasara neden olan etkenlerin başında su gelir. Su iyi bir çözücü olduğu için yapı malzemeleriyle sürekli temasta olması halinde, malzemenin yapısını bozacak etkilerde bulunabilmektedir. Su, donduğunda hacmi artan bir madde olduğundan, yapılarda sızdığı yerlerde donarsa, çatlaklara neden olabilmektedir. Sıcaklığın kısa süre içinde yüksek iniş çıkışlarının olması durumunda, yapılarda oluşabilecek büzüşme ve genleşmeler de yapı malzemesinde bozulmaya sebep olmaktadır. Rüzgârlar, sert estiklerinde yapıya zarar verdikleri gibi, taşıdıkları tohumların bakımsız kalmış yapıda çimlenmesiyle oluşan bitkiler de yapıya hasar verebilmektedir. İklimsel faktörlerin tek başına yapıya hasar verme potansiyeli olduğu gibi, iki veya daha fazla faktörün birlikte etki ettiği durumlarda da yapılarda çeşitli derecelerde hasarlar oluşabilmektedir. Yağış suyu ve sıcaklığın birlikte etkisiyle oluşan çatlaklar, iki faktörün birlikte etkisine bir örnek olabilmektedir.

2.2. Fiziksel Etkiler

Fiziksel etkiler, malzeme yapısında moleküler düzeye inmeyen değişimlere sebep olmaktadır. Yapıda aşınmalar meydana getiren kuvvetler, rüzgâr, su, hareket halinde olan insan (Şekil 1), sıcaklık, deprem gibi faktörler sonucu oluşmaktadır. Birbirleriyle temas halindeki iki malzemenin hareketi sonucu, zamana bağlı olarak meydana gelen aşınmalarda, diğerine göre sert olan madde aşındırıcı olmaktadır. Eski yapılarda yapı fiziği sorunu olarak karşımıza çıkan bu tür olaylar

sonucu malzemeler yüzeysel görünümünü kaybetmiş ve kesitlerinde incelmeler olmuştur (Eriç, 2010).



Şekil 1. İnsan Hareketleri Sonucu Aşınan Merdivenler

Rüzgârlar, taşıyabildikleri parçacıklarla, yapıların dış yüzeylerinde aşınmaya neden olmaktadır. Aşınma miktarı malzemenin sertliği ve temas edilen süreye bağlı olarak değişik miktarlarda olur (Eriç, 2010).

Sıcaklık arttıkça yapı malzemelerinde genleşme, düştükçe de büzülme meydana gelmektedir. Fiziksel bir değişim türü olan bu etkiler, gece ile gündüz arasında yüksek sıcaklık farkları ve yapının içi ile dışı arasındaki ısı farkının büyük olduğu durumlarda, yapıda çatlakların oluşmasına neden olarak hasar meydana getirmektedir (Tekel 2017).

2.3. Kimyasal Etkiler

Kimyasal etkiler, yapıları oluşturan malzemelerde atomik yapılarına kadar işleyen değişimleri tarif eder. Geri dönüşümü olmayan bir değişime sebep olur. Su, nem, hava, güneş ışığı çeşitli biçimlerde, yapı malzemelerini etkileyerek, onlarda kimyasal etki kaynaklı hasarlara neden olurlar.

Çevremizde, doğal olarak yüksek miktarda iyon içeren sulardan olan deniz suları, içerdikleri tuzlarla doğrudan temas halinde oldukları kıyı yapılarını etkilerler. Sahil şeridine yakın yapılar, havanın taşıdığı tuzlu nem ve rüzgârlı havalarda taşınan su damlacıkları ile deniz suyunun etkisi altında kalırlar (Tekin ve ark., 2016).

Asitliğin göstergesi olan pH değeri, 7'nin altında olduğunda su, asit özellikte olur. Havada, özellikle sanayi bölgelerinde bulunan fabrikalardan havaya yayılan SO_3 (kükürttrioksit), CO_2 (karbondioksit) gibi gazlar, yağmur, sis ve havanın nemi ile birleşerek H_2SO_4 (sülfürik asit) ve H_2CO_3 (karbonik asit) oluşmasına neden olurlar. Asitlerin kalker türündeki malzemeler üzerinde eritici ve parçalayıcı etkileri vardır (Eriç, 2010).

Uzun süreli etkiyen güneş radyasyonu, malzeme üzerinde, atomik yapıyı bozarak renk solması oluşturabilmektedir. Örneğin ahşap malzemedeki kararma ve yanma oksidasyon sonucu oluşmaktadır (Şekil 2). Oksidasyonun bir diğer etkisi ise mineral pigmentli boyalarda renk değişiminin olmasıdır (Eriç, 2010).



Şekil 2. Güneş Etkisiyle Ahşap Yüzeyde Oluşan Kararma

2.4. Biyolojik Etkiler

Yapılara, biyolojik açıdan etki eden unsurlar, bitkiler, hayvanlar, mantarlar ve mikroorganizmalardır. Canlı yaşamında su büyük bir öneme sahiptir. Su, yapıların her bölgesinde biyolojik bir deformasyona yol açabilmektedir. Biyolojik deformasyon öncelikle ahşap temelli malzemeler için risk oluşturur, ancak diğer malzemeler de aynı derecede olmasa da benzer bir riskin altındadır.



Şekil 3. Ahşap Cephede Biyolojik Faaliyet Sonucu Çürümeler

Ahşap, canlı kökenli bir malzeme olduğu için çeşitli organizmaların saldırısına maruz kalır. Bazı canlılar, ahşap bünyesindeki birtakım maddeleri, kimyasal enzimler salgılayarak, sindirip kendi besinlerini temin ederler. Bu işlem ahşabın hücresel yapısını bozarak “çürüme” denilen olayı (Şekil 3) gerçekleştirir. Nemli ortamlar, ahşap için zararlı olan organizmaların gelişimi için optimum koşulları sağlayabildiğinden dolayı ahşap bünyesel ve mekanik dayanıklılığını kaybeder (Yesügey 2014).

3. ÇEVRE KOŞULLARININ YAPI MALZEMELERİNE ETKİLERİ

Çevre koşullarının, yapı malzemelerine etkisi, değişik şekillerde olur. Daha önceden de belirtildiği gibi ahşap gibi, canlılar için besin kaynağı olma potansiyeli olan malzemeler için biyolojik etkiler daha büyük önem taşırken; taş, tuğla, metal gibi yapı elemanları için ise daha çok fiziksel ve kimyasal etkiler önemlidir. Aşağıda, yapılarda kullanılan malzemeler dört ayrı sınıfta, ahşap, metal, taş ve toprak olarak gruplanıp bozulma biçimleri üzerinde durulmuştur.

3.1 Ahşap Kökenli Yapı Malzemeleri

Ahşap, çok uzun zamanlardan beri insanlar tarafından kullanılan eski yapı malzemelerinden biridir. Uygulamalar ilk zamanlarda deneyimsel olarak yapılırken, mühendisliğin gelişmesiyle beraber, bilimsel olarak yapılmaya başlanmıştır (Odabaşı, 2000).

Malzeme olarak, ahşabın hem olumlu hem de olumsuz yönleri vardır. Olumlu yanı hafif olmasıdır. Malzemenin hafifliği, ahşap binaların ölü yükünü azaltmış, dolayısıyla, temel, kolon, kiriş gibi taşıyıcı elemanların boyutlarının küçülmesini sağlamıştır. Hafif olması nakliyesini ucuzlatmış ve genellikle montaj makineleri ihtiyacı oluşturmamıştır. Birleşimi ve sökümü kolaydır, bakım giderleri metal yapı elemanlarına göre daha azdır. Ahşap, kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Isı yalıtım gücünün yüksekliği, kuru haldeyken elektriksel olarak yalıtkan olması, işlenmesinin kolaylığı ayrıca sıcak bir malzeme oluşu ahşabın mimarlık için olumlu bir etkiye sahip olmasını sağlamıştır (Türkçü 2017).

3.1.1 Canlı organizma etkileri

Ahşabın dokusunu oluşturan selüloz ve linyini besin olarak kullanan canlılar ahşabı hızla ayrıştırıp, kesitini zayıflatarak parçalamaktadır. Bazı canlılar ise ahşapta yumurtlamakta ve yaşamlarını devam ettirebilmek için bir takım delikler açmakta, önemli bir kısmı da besin elde edebilmek için ahşabın selüloz ve linyinini kimyasal olarak ayrıştırarak malzemeyi kısa zamanda toz haline getirmektedir (Eriç, 2010).

Böcekler de ahşaba zarar veren canlılardandır. Ahşap için bazı böcek, kurt ve karınca türleri ile toprak altı böcekleri ve deniz böcekleri önemli riskler oluşturabilmektedir. Bu canlıların en önemli gıdası selülozdur. Genellikle gıda kaynakları toprak altı ölü ahşaplardır. Toprak üstü ahşap yapılar da bu canlılar için hedefdir. Böcekler, kendileri için gerekli olan nemi almak amacıyla periyodik olarak toprağa dönerler. Böceklerin yapı için tehdit oluşturduğu yerlerde, en iyi korunma yolu, böceklerin tekrar yüzeye çıkmasını önleyecek tedbirleri alınmasıdır (Yesügey, 2014).

3.1.2. Yanma etkisi

Yanma etkisini güneşe maruz kaldığında oluşan oksidasyon ve ateş oluşumu ile meydana gelen tutuşma olarak iki farklı şekilde oluşmaktadır.

Ahşap, güneşin etkisiyle sürekli olarak oksidasyona uğradığında kararmaktadır. Isı yaklaşık 145°C’de ahşabı kimyasal olarak ayrışmaya uğratmaktadır. Yanma hızı, malzemenin kesitine, içerdiği nem ve reçine miktarına göre değişiklik göstermektedir. Bu dezavantaj oluşturan özellikler nedeniyle, yanmaya karşı önlemler alınarak ahşabın kullanılması gerekmektedir (Eriç, 2010).

3.1.3. Atmosferik etkiler

Ahşap, higroskopik yani rutubeti ve suyu kolayca çeken bir malzeme olduğu için su buharı ve nem malzeme üzerinde etkili olmaktadır. Malzeme bünyesinde selüloz ve hemisolüloz molekülleri ile

suyu oluşturan moleküller arasında güçlü bir çekim vardır. Selüloz dokusu, su ile temas ettiğinde ahşap şişmekte, suyun eksilmesiyle büzüşmektedir. Suyla temas halindeki ahşapta, sıcaklık etkisiyle, içindeki bazı inorganik ve organik maddeler suda çözünmektedir. Bu durum çeşitli mantarların üremesi için uygun bir ortam sunmaktadır (Tekin ve ark., 2016).

Özellikle yağışlar ve ortam nemi ahşapta fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkileri birlikte meydana getirerek hasar oluşumuna neden olmaktadır. Ahşabın ömrü üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için suyun ahşap malzemedeki çeşitli yöntemlerle uzak tutulması gerekir.

3.2 Metal Kökenli Yapı Malzemeleri

İnsanlık, metal malzemedeki çok eski devirlerden itibaren yararlanmıştır, ancak yapılarda kullanımının yaygınlık kazanması 20. yüzyılı bulmuştur. İlk çağlarda bakırdan boruların ve kenetlerin üretiminde metal malzeme kullanılmıştır. Mühendislik yapısı olarak ilk kullanımı, 1779 yılında Londra’da inşa edilen Coalbrookdale köprüsünde olmuştur.

Metaller, yapıdaki kullanıldığı yerlere göre, taşıyıcı, kaplama, doğrama, tesisat ve ince yapı sistemlerinde yer alan malzemeler olarak sınıflandırılabilir. Günümüzün gelişmiş teknolojisinde elementlerin sayısı yüzü geçmiştir, yalnız bunların içinde yapı malzemesi olarak en fazla kullanılan metaller, demir, bakır, alüminyum, çinko ve kurşunla sınırlı kalmıştır (Eriç, 2010). Metal yapı malzemesinin bozulmasında en önemli kavram korozyondur. Korozyonu, kimyasal olarak aktif olan metallerin doğadaki en düşük enerjili duruma geçme halleri olarak tanımlayabiliriz. Bu nedenle korozyonu tamamen önlemek mümkün değildir. Korozyon, yapıların bulunabilecekleri tüm ortamlar için, yani atmosferle, sulu ortamla ve zeminle temas etme olarak üç şekilde incelenmiştir.

3.2.1. Atmosferle temas halinde korozyon

Kuru bir atmosferde, normal sıcaklıkta, metaller için korozyon söz konusu olmamaktadır. Korozyon oluşabilmesi için belli kalınlıkta bir sıvı filminin oluşması gereklidir. Sıvı filminin etkili bir kalınlığa ulaşması atmosferin rölatif rutubetinin belli bir değere “kritik rutubet” e ulaşmasıyla mümkün olabilmektedir. Bu nedenle atmosferik korozyon hızı doğrudan havanın rölatif rutubetine bağlı olmaktadır (Yalçın & Koç, 1997).

Korozyon temelde, kimyasal reaksiyon olduğu için bu reaksiyonu hızlandıran faktörler korozyonu da hızlandırmaktadır. Sıcaklığın 0 °C’den büyük olduğu ortamda rölatif nemin yüksekliği korozyonu arttırmaktadır. Sıcaklığın 0 °C’den düşük derecelerde korozyon ihmal edilebilir derecede düşük olmaktadır (Yalçın & Koç, 1997).

Hava kirliliği arttıkça, korozyona sebep olan bileşikler de arttığı için endüstriyel bölgelerle ve kalabalık şehir merkezlerinde korozyon kırsal bölgelerdekine oranla daha fazla olmaktadır.

Çeşitli metallerin, atmosferik korozyona dayanıklılıkları farklılıklar göstermektedir. Bazı metallerin yüzeyinde koruyucu bir oksit tabakası oluşarak atmosferik korozyona karşı dayanıklı bir kabuk meydana gelmektedir. Örneğin alüminyum ve çinko demirden daha aktif metaller olmalarına rağmen korozyona demirden daha dayanıklı olmaktadır. Bu metallerin yüzeyinde oluşan oksit filmi yüzeye sağlamca yapışarak metali korozyondan korumaktadır (Yalçın & Koç, 1997).

3.2.2. Suyla temas halinde korozyon

Suyla temas halindeki korozyon incelendiğinde, su, tatlı su ve deniz suyu olarak iki kategoriye ayırmak gerekmektedir. Her iki sulu ortamda da korozyonun asıl kaynağı çözülmüş oksijen konsantrasyonudur. Deniz suyunu tatlı sudan en önemli fark, içerisinde çözülmüş madde miktarının daha fazla olmasıdır. Korozif etki düşünüldüğünde, içerisinde daha fazla çözülmüş madde olan deniz suyu, daha fazla korozif özellik göstermektedir.

Tatlı suyun korozif özelliği, başta çözülmüş oksijen konsantrasyonu olmak üzere, elektriksel iletkenlik, pH, sertlik, bikarbonat ve klorür iyonu konsantrasyonuna bağlıdır. İçinde çözülmüş oksijen bulunmayan sular içerisinde korozyon olayı görülmez. Oksijen olmayınca katot reaksiyonu gerçekleşmemektedir, sonuç olarak da korozyon oluşmamaktadır (Yalçın & Koç, 1997).

Sıcaklık artışı, belli bir değere kadar korozyonu arttırmaktadır. Ancak gazların önemli bir özelliği vardır, sıcaklık artışı gazların sudaki çözünürlüğünü düşürmektedir. Oksijenin de sıcaklıkla sudaki çözünürlüğü azalır, korozyonda düşmeye sebep olan sıcaklık ise 80°C'dir. Sıcaklık bu dereceyi aşınca korozyon ortamdaki oksijen azalması nedeniyle düşer.

Deniz suyunun içerisinde klorür konsantrasyonunun yüksek olması, metal yüzeyi üzerinde oluşmuş olan pasif tabakayı kolayca bozmaktadır. Bu etki nedeniyle alüminyum ve paslanmaz çelik gibi pasifleşme özelliği olan metaller deniz suyu içinde korozyona dayanıksızdır (Yalçın & Koç, 1997).

3.2.3 Zeminle temas halinde korozyon

Yapıların zeminle temas eden en önemli kısımları temelleridir. Temelerde metalin yani çeliğin kullanılması 20 yy. ile birlikte yaygınlık kazanmıştır. Binalara su getiren isale hatlarında ve atık su götüren kanalizasyon hatlarında da çelik ya da dökme demir borular kullanılmıştır. Borularda korozyonun oluşması sızıntılara neden olabilmektedir.

Yeraltında korozyon elektrokimyasal hücreler yoluyla yürümektedir. Toprak rutubeti elektrolit görevini üstlenmektedir. Elektrot reaksiyonları şöyledir.

Anot Reaksiyonu: $Me \rightarrow Me^{+n} + ne^{-}$ (Me, metal demektir)

Katot Reaksiyonu: $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^{-} \rightarrow 2OH^{-}$

Yukarıdaki anot ve katot reaksiyonları sonucu oluşan korozyon ürünleri metal yüzeyi yakınında yeniden kimyasal reaksiyona girerek metal hidroksitleri oluşturmaktadır. Eğer anot ve katot reaksiyonlarının olduğu bölgeler birbirine çok yakınsa ve toprağın pH derecesi 5 değerinden büyük olursa, korozyon ürünleri çelik yüzeyin üzerinde pas şeklinde toplanmaktadır (Yalçın & Koç, 1997).

Zeminde korozyon oluşmasında bir diğer kilit faktör de oksijenin varlığıdır. Korozyon oluşumunda oksijen yükseltgenmenin olduğu katot reaksiyonları için ortamda olmak zorundadır. Zemindeki oksijenin kaynağı havadır, havayla teması daha kolay olan zeminin üst kısımlarında, daha yüksek oksijen konsantrasyonu, daha az havalanan bölgelerde ise düşük oksijen konsantrasyonu oluşmaktadır. Bu durumda da konsantrasyon farklılıkları bir anot katot reaksiyonu oluşturarak korozyona neden olabilmektedir. Zemindeki nemde oksijen konsantrasyonunun miktarı da korozyonla doğru orantılıdır. Artan oksijen konsantrasyonu, artan korozyona işaret etmektedir (Yalçın & Koç, 1997).

3.3. Taş Kökenli Yapı Malzemeleri

Yapılarda kullanılan taş kökenli malzemeler, iki ayrı başlık altında incelenebilir. Bunlar, doğal ve yapay taş yapı malzemeleridir. Bu çalışmada yapay taş malzemeleri olan beton ve harçlar kapsam dışında bırakılmıştır. Aşağıda doğal taş malzemeler kısaca incelendikten sonra bozulma mekanizmaları araştırılacaktır.

3.3.1. Doğal taş yapı malzemeleri

Yer yüzeyindeki kayaların, çeşitli etkenlerle oluşturdukları doğal, kristal yapılı ve inorganik oluşumlu yapı malzemeleridir (Eriç, 2010). İnsanların barınak yapıları ile birlikte, yapıların birçok farklı yerinde, türlü amaçlarla doğal taşlar kullanılmışlardır.

Doğal taşlar, püskürük, tortul ve başkalaşmış kütleler olarak üç ana grupta toplanabilmektedir. Bu kütleler, derinlerde erime, kristalleşme, çeşitli atmosfer etkileri ile dağılma, çökeltme, basınç, ısı ve kesme kuvveti gibi çeşitli faktörlerin etkisiyle başkalaşım geçirerek bir birlerine dönüşebilmektedirler (Eriç, 2010).

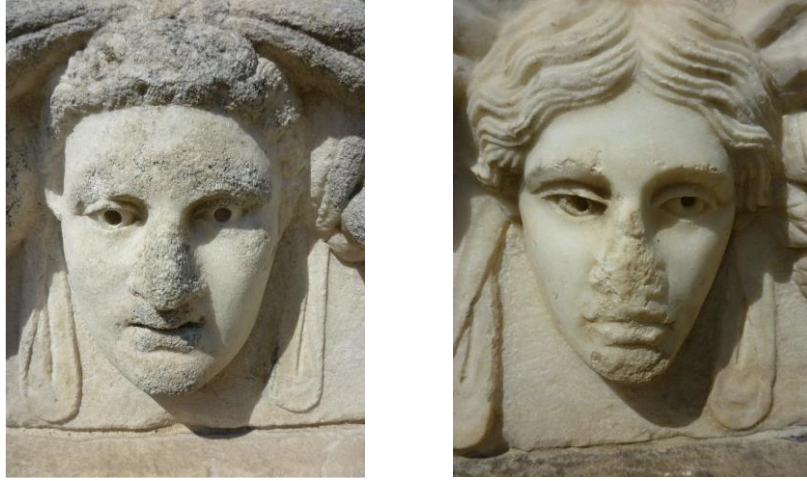
3.4. Taş Malzemelerde Bozulmalar

Çok eski dönemlerden beri yapılarda kullanılan taş, kalıcılığın ve sağlamlığın simgesi olmuştur. Günümüze ulaşan, eski devirlerde yapılmış birçok eser, taş kullanılarak inşa edilmiştir. İstanbul'da kentin çevresini saran surlar, cami ve kiliseler taş kullanılarak inşa edilen akla ilk gelebilecek yapılarıdır. Taşlar her ne kadar dayanırlıkları ile öne çıksalar da uzun yıllar etkisi altında kaldıkları çevresel etkiler nedeniyle bozulmalara uğramışlardır. Söz konusu çevresel etkiler hava, su, ısı ve biyolojik etkiler başlıkları altında toplanmıştır.

3.4.1. Hava etkileri

Hava kirliliğinin, doğal ve yapay kaynaklı olarak meydana geldiğini söyleyebilmekteyiz. Doğal kaynaklar arasında yanardağ faaliyetleri, çöl tozları insan dışı nedenlerle oluşan yangınlar bulunmaktadır. Yapay kaynak ise insan faaliyetleri sonucu oluşan gazların atmosferi kirlenmesidir. Bu faaliyetler genel olarak ulaşım, sanayi ve ısınma olarak sıralanabilmektedir.

Atmosferi kirlüten, sanayi kaynaklı, ısınma sistemlerinden yayılan ve motorlu taşıtlardan çıkan gazlar, anıtlar üzerinde kirli bir tabaka oluşturmaktadır. Kirli havada bulunan azot oksitler ve sülfür oksitler, su ile reaksiyona girdiklerinde taşları eriten asit bileşiklerini (Şekil 4) meydana getirmektedirler. Gazlar ve katı partiküllerden oluşan hava kirliliği, rüzgârla taşınarak, taşların yüzeyinde ya da yüzeyin hemen altında çözünür tuzların kristalleşmelerine neden olmaktadır. Bütün kimyasal reaksiyonları etkileyen su, taşların yüzeyinde biriken bu tuzlarla reaksiyona girerek, tuzların solüsyon veya süspansiyon halinde çözünmesine neden olmaktadır. Böylece gözenekleri kalsiyum sülfatla dolan taşlar, kristalleşme ile içinde doğan itici basıncın da etkisiyle bozulma derinliğine bağlı olarak, yüzeyden ısınma alanının sınırına kadar tabakalar halinde dökülmektedir. Higroskopik olan tuzların, havadaki nemi tekrar bünyelerine çekmeleriyle tekrarlanan bu olay ögeleri sürekli olarak aşındırmakta ve cephede kara, geçirimsiz bir tabaka oluşturmaktadır (Büyükmihçi, 1999).



Şekil 4. Friz Duvarı

İki maskeden biri (sol) yetmiş yıl boyunca İzmir'de trafik kirliliğinin yarattığı hasarı, Aphrodisias'ta kalan diğeri ise (sağ) Aphrodisias'taki kaldığı için iyi korunma durumunu göstermektedir (Smith, 2018).

3.4.2. Su etkileri

Yapılarda kullanılan taş malzemelerde bozulma yaratan önemli faktörlerden biri de sudur. Su, taş malzemeye kendisine has fiziksel ve kimyasal özelliklerle etki ederek bozulmaya sebep olmanın dışında, içerisindeki çözülmüş maddelerle birlikte de taşta bozulmaya sebep olur.

Yapı elemanlarının içine sızan su, çözücülüğü ile bağlayıcıların kimyasal yapısını bozmaktadır. Yüksek sıcaklık farklılıkları, suyun buza dönüşmesiyle meydana gelen gerilmeler malzemenin iç yapısını bozup, malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşturabilmektedir. Suyun malzeme üzerindeki olumsuz etkileri kısaca; su emme, kapilerite, donma, çiçeklenme, eriyebilen tuzların açığa çıkması, nem nedeniyle oluşan şekil deformasyonları ve nemin havadaki gazlarla birleşmesi sonucu oluşan asit etkisi ve biyolojik deformasyonlara zemin hazırlaması olarak özetlenebilir (Büyükmihçi, 1999).

3.4.3. Isı etkileri

Isı miktarındaki azalma ya da artma maddede sıcaklığın değişmesine neden olmaktadır, sıcaklık değişimi artan yönde olduğunda maddenin hacmi artarken, azalan yönde olduğunda ise maddenin hacmi küçülmektedir. Maddelerin türüne, miktarına ve sıcaklık değişiminin büyüklüğüne bağlı olarak bu etkinin şiddeti değişmektedir. Genelde metal malzemeler taş ve betona göre ısı aldıklarında daha fazla genişler. Sıcaklık farkının fazla olması malzemelerdeki genişleme miktarının fazla olmasına neden olmaktadır.

Taş malzeme için en yaygın ve önemli hasar kaynağı, ısı farklılıkları sonucu oluşan hasarlar olmaktadır. Taşın iç yapısındaki, farklı kristaller arasında meydana gelen ısı kaynaklı genişlemelerin yarattığı çatlaklar ve geleneksel yapı sistemleri içinde kullanılan metal bağlantı elemanlarında artan ısı ile oluşan genişlemelerin malzemede yarattığı iç basınç, özellikle ısı farklarının yüksek olduğu bölgelerde, yapılara hasar verme riskini arttırmaktadır. Su emmeye veya kesitteki suya bağlı olarak, gece-gündüz periyodunda ısınıp soğuyarak, ısıl şoka uğrayan malzeme, zamanla yorularak elastikliğini kaybeder. Doğal taşlardaki donma sonucu oluşan bu tür tahribatın düzeyi, malzemenin içerdiği su miktarı, gözenek yapısı, suya doyma derecesi, ortalama gözenek büyüklüğü gibi özellikler ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Isı farklarının meydana getirdiği donma

çözülme döngüleriyle sürekli tekrarlanan bu olay, taşların yüzey ve iç bölgelerindeki minerallerin farklı genişmesine neden olarak taş malzeme ile yapılandırılan eserlerin cephelerinde kabuklanma, kavlanma, kırıntılanma şeklinde beliren ciddi sorunlar yaratmaktadır (Büyükmihçi, 1999).

3.4.4. Biyolojik etkiler

Taş malzemede bozulmaya sebep olan biyolojik etkiler bitki, hayvan, alg, liken, yosun gibi birçok türde canlı tarafından oluşturulabilmektedir. Bakımsız kalan yapılarda rüzgârın taşıdığı toz ve toprak birikintilerine yine rüzgârla taşınan polenlerin çimlenmesiyle oluşan bitkilenme, yapı üzerinde özellikle çatı kısmında ağaçların büyümesine kadar varan durumların meydana gelmesine neden olarak yapıda hasar oluşturabilmektedir. Hayvanların da özellikle gübreleri asidik özellik gösterdiğinden taşlarda kimyasal bozunmaya ortam sağlayarak yapıda hasar meydana getirmektedir. Ancak basit yapılı canlılar taşlara biyolojik olarak en önemli hasarları verirler.

Algler gibi nemli yüzeylerde oluşan yosunlar, taşların yüzeylerinde kirlilik ve leke oluştururlar. Yosunlar, kökleriyle taşa oksalik asit salgılayabilmekte ve yüzeyde mikro çatlaklar oluşturarak mekanik bozulmaya yol açmaktadırlar. Algler ve mantarların birlikte oluşturdukları, gri-portakal, mavi-yeşil renkli likenler de ürettikleri oksalik asitle taşa bozulmalara yol açmaktadırlar (Büyükmihçi, 1999).

Doğal taş malzemelerde meydana gelen önemli bozulma nedenlerinden biri de nitratlaştırıcı bakterilerdir. Azotun iki safhada nitrate oksitlenmesi olan nitratlaşmaya iki tür bakteri neden olmaktadır. Azot oksitlendiricileri tarafından gerçekleştirilen ilk reaksiyon azotun nitröz asidi tuzuna oksitlenmesidir. Nitröz asidi tuzu oksitlendiricileri tarafından oluşturulan ikinci reaksiyon ise nitröz asidi tuzlarının nitrate oksitlenmesidir. Her iki aşamada da tuz ve/veya mineral asitleri üretilmektedir (Hattap, 2002).

3.5. Toprak Kökenli Yapı Malzemesi

İnsanlık tarihinde geriye gidildiğinde pişmiş toprak malzeme, ilk olarak bazı aletler ve heykelciklerin yapımında kullanılmıştır. Mezopotamya'daki eski uygarlıklar pişmiş topraktan duvar ve kanalizasyon sistemi yapmışlardır. Bazı ev eşyaları, yazı yazmak için kullanılan tabletler, günümüze kadar ulaşmış pişmiş toprak esaslı kalıntılar olmuştur.

3.5.1. Kerpiç yapı malzemesinde bozulmalar

Kerpiç malzemenin en önemli zayıf noktası suya ve neme karşı olan dayanıksızlığıdır. Kerpiçten yapılan duvarlar su çektiğinde ya da nem tutmaya başladığında dağılmaya başlamaktadır. Kerpiç bu nedenle sürekli bakım gerektiren bir malzemedir. Bakımları ihmal edilirse, toprak kökenli bir malzeme olduğu için bitkilenme, böcek ya da küçük hayvanların açabilecekleri oyuklarla dayanımını kaybederek bozulmaya başlamaktadır. Sıcaklık farklılıkları diğer yapı malzemelerinde olduğu gibi kerpiçte de genişleme ve büzülmeyle yol açmakta bu durum kerpiçte çatlaklar oluşturabilmektedir.

Su, ısıl gerilimler ve biyolojik sebeplerden başka, kerpiç malzemeyi etkileyen, insan kaynaklı bozulma nedenleri de vardır. Geleneksel kerpiç yapılara modern işlevler getirildiğinde, hatalı tesisat yapımı yapıda su problemlerine neden olabilmektedir. Yapı kullanılırken uygulanan çimentolu tamir, yenileme veya bakım amacıyla kullanılan sıvalar, hava geçirimini engelleyen boyalar, kerpiç malzemede bozulmayı hızlandırabilmektedir. Çimento esaslı harçlar, kerpiçle fiziksel ve kimyasal uyumsuzluklar doğurabilmekte, çatlaklara neden olabilmektedir. Yine harç,

sıva ve boya ların hava geçirimsiz olması, kerpiç malzemenin hava almasını engelleyerek duvar bünyesinde bozulmalara sebep olmaktadır. (Zakar, 2013).

4. ANITSAL YAPILARDA ÇEVRESEL ETKİLER

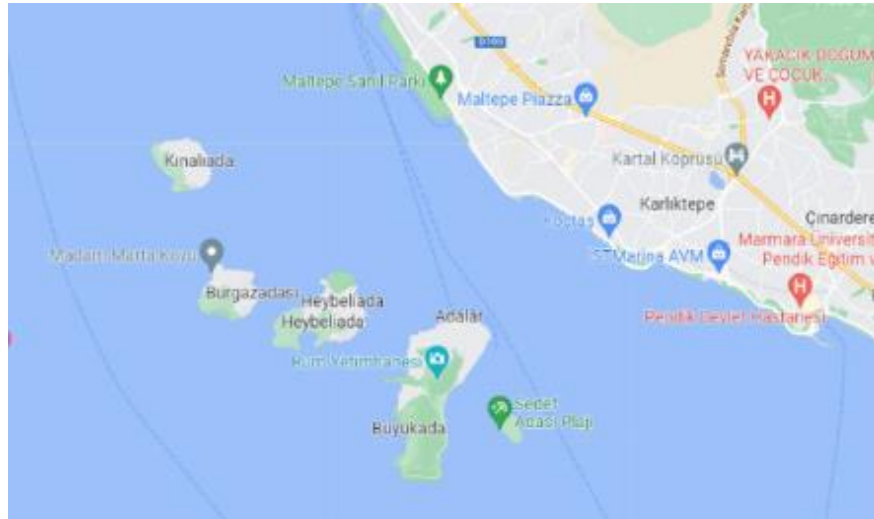
Bu çalışma kapsamında çevresel etkilerin anıtsal yapılara etkisi konusunda verilecek örnekler için ahşap, metal, taş ve toprak yapı malzemeleri seçilmiştir. Bu malzemeler için örnek olarak da sırasıyla, Büyükkada Rum Yetimhanesi, Arap Han, Sveti Stefan Kilisesi ve Burdur'da bulunan Kuruçay Höyük olmuştur.

4.1. Büyükkada Rum Yetimhanesi

Büyükkada'da bulunan Rum Yetimhanesi ahşap karkas sistemle inşa edilmiş Avrupa'daki en büyük binadır. Sadece bu açıdan da bakılırsa önemli bir anıtsal yapıdır. Ancak yıllar süren bakımsızlıktan dolayı şu an çökme tehlikesi yaşamaktadır.

4.1.1 Büyükkada Rum Yetimhanesinin konumu

Rum Yetimhanesi İstanbul'da Adalar'ın 5.4 km²'lik yüzölçümü ile en geniş adası olan Büyükkada'nın kuzeyindeki İsa tepesinde bulunur (Şekil 5).



Şekil 5. Adalar (Google Maps, 2022a)

4.1.2. Büyükkada Rum Yetimhanesinin tarihçesi

Büyükkada'nın İsa (Hristo) Tepesi'ndedir. 1898-1899 arasında bir Fransız şirketi tarafından otel olarak inşa edilmiştir. Mimarı, dönemin ünlü mimarlarından Alexandre Vallaury'dir. Yedikule'deki Balıklı Rum Hastanesi'nde bulunan yetimhane 1902'de buraya taşınmıştır. Yetimhane 1964 de kapatılmış, o tarihten günümüze kadar da yapı boş ve bakımsız kalmıştır. Yapı günümüzde Fener Patrikhanesi'nin kontrolü altındadır (Ceylan, 1995).



Şekil 6. Yetimhanenin Çöken Çatısı (Germen 2018)



Şekil 7. Yetimhanenin Genel Görüntüsü (Germen 2018)

Yetimhane Patrikhanenin mülkiyetine geçtikten sonra. Binadaki çökme tehlikesi nedeniyle binaya girişler yasaklanmıştır (Yılmaz, 2020). Çatısı çöken yapı (Şekil 6) su almaya başlamış bu durum yapının mevcut kötü durumunu daha da kötüleştirmiştir. Kapatıldığı yıl olan 1964'ten itibaren oldukça bakımsız kalan, 1999 depreminde ve ağır geçen kış koşullarında (şiddetli yağışlar ve sert kuzey rüzgârları) büyük hasar alan ve çökme tehlikesi yaşayan (Şekil 7) binalar 2018 yılında Avrupa'nın Tehlike Altındaki 7 Kültürel Miras alanı arasında seçilmiştir (Europa Nostra, 2019).

4.1.3. Çevresel etkiler bağlamında yetimhanenin irdelenmesi

İstanbul, iklimsel olarak Karadeniz ve Akdeniz iklim kuşaklarının etkisindedir. Kentin mikro-klimasında iki ana, bir de ikincil rüzgâr etkilidir. Kuzeydoğudan esen kuvvetli poyraz soğuk hava, batı-kuzeybatıdan esen karayel de soğuk rüzgârların yanı sıra yoğun yağış getirir. Güneybatıdan esen lodos daha ılık olup, o da yağış getirebilir. Yıllık sıcaklık ortalaması 14°C'dir. Adalar daha ılık bir Akdeniz iklimine sahiptir (Kuban, 2017).

Büyükkada'da yetimhanenin inşa edildiği İsa Tepesi yüksek rakıma sahip olduğu için kuzeyli rüzgârların hâkim olduğu zamanlarda yetimhane, rüzgârdan daha olumsuz etkilenmektedir. Ahşap yapıların bozulmaları açısından en önemli risk faktörleri su ve nem olmaktadır. Suyun yapıdan uzaklaştırılmamış olması yapıda biyolojik bozulmaya da zemin hazırlayabilmektedir. Mantarlar, bakteriler ve çeşitli türlerde böcekler, yapıda biyolojik bozulmaya sebep olmaktadır.

Büyükkada Rum Yetimhanesindeki cephelerdeki bozulma yapının dış koşullara karşı kendisini koruyamayacak hale gelmesine neden olmuştur. Suyu emen ahşap şişer, kuruduktan sonra da

büzülmeye uğrar, bu şişme büzülme döngüleri ahşabın yapısal olarak deformasyonunu (Şekil 8) hızlandırmıştır.



Şekil 8. Yetimhane Cephesindeki Bozulmalar (Germen 2018)

Dış cephedeki bozulma, yağışlarla gelen suyun bina içine kolaylıkla girmesine neden olabilmektedir. Bu durumda çürüme sadece cephe ile sınırlı kalmamakta ve iç kısımlara da ulaşabilmektedir (Şekil 9 ve 10). Rum Yetimhanesini incelediğimizde yapıdaki bozulmanın artık binanın varlığını tehdit edecek düzeye kadar ilerlediğini göstermektedir.



Şekil 9. Yetimhane Odalarından Biri (Germen 2018)



Şekil 10. Yetimhane Koridorlarından (Germen 2018)

4.2. Sveti Stefan Kilisesi

Sveti Stefan kilisesi, İstanbul, Balat'ta yer (Şekil 11) almaktadır. Taşıyıcı sistemi, duvarları, pencere doğramaları, kemerler, sütunlardan çatısına kadar tüm bileşenleri dökme demir, sac levha, profil gibi metal elemanlardan imal edilmiş, bağlantılar da cıvata, somun ve kaynakla sağlamıştır.

4.2.1 Sveti Stefan Kilisesinin konumu

Sveti Stefan kilisesi İstanbul'un Fatih ilçesinde Balat Mahallesi sınırları içinde yer alır. Sahilde Ayvansaray Caddesi ile Mürselpaşa Caddesi arasında yer alır. Arsası Stefan Bogoridi tarafından kilise yapılması için bağışlanmıştır.



Şekil 11. Sveti Stefan Kilisesinin Bulunduğu Balat (Google Maps, 2022b)

4.2.2. Sveti Stefan Kilisesinin tarihçesi

Osmanlı İmparatorluğu'nun son dönemlerinde İstanbul'da yaşayan Bulgarların sayısı yaklaşık 50.000 civarındaydı. İstanbul'daki Bulgar nüfusu da 18. yy. ile birlikte artmaya başlamıştır. Bulgarları İstanbul'a çeken en önemli sebep, ticaret ve meslek sahibi olmaktı. Bulgarlar burada nüfus olarak artarken ekonomik olarak da güçlenmeye başlamışlardı, şehirde o dönemde 24 esnaf locası Bulgarlara aitti. Bulgarlar dini açıdan Rum Patrikhanesine bağlıydılar. Patrikhanenin Bulgar cemaati üzerindeki politikasının asimilasyon yönünde olması, Bulgar din adamlarının öncülüğünde başlayan, bağımsız bir kilise kurma düşüncesinin kuvvetlenmesini sağlamıştır (Seyfeli, 2011).

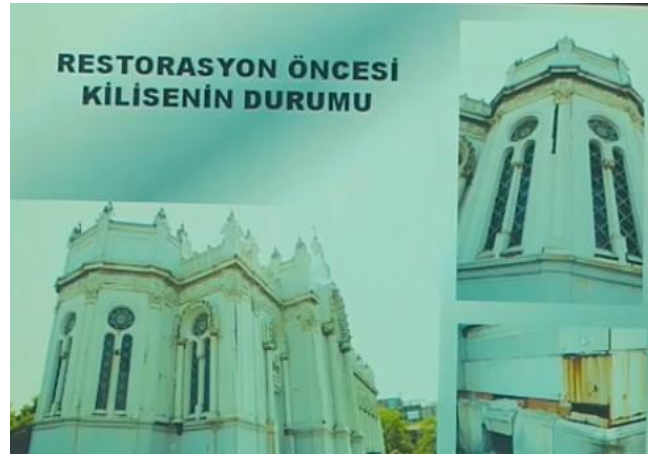
İstanbul'daki Bulgarların Rum Patrikhanesinin ayrılma mücadelesi 1870 yılında sonuç verdi ve 11 Mart 1870 tarihli bir fermanla Bulgar Eksarhlığı kurulmuştur. Eksarhlık kurulduktan sonra yeni bir kilisenin yapımı için 1888 yılında uluslararası bir yarışma düzenlenmiştir. Yarışmayı Hovsep Aznavur kazanmıştır. Kilisenin yapılacağı yerde zeminin sağlam olmaması nedeniyle taş bir bina yerine daha hafif olan çelik bir bina yapımına karar verildi. Çelik kilisenin yapımı için bir yarışma düzenlenir. Yarışmayı Viyana'dan R. Ph. Waagner firması kazanır. Kilise önce fabrika bahçesinde kuruldu daha sonra da gemiyle İstanbul'a getirildi. Kilise 20 Eylül 1898 tarihinde törenle açıldı (Çiçekliyurt, 2020). 2011 yılında kapsamlı bir restorasyon çalışması yapılmış, 2018 yılının 20 Ocak tarihinde tekrar ibadete açılmıştır.

4.2.3. Sveti Stefan Kilisesinin çevresel etkiler bağlamında incelenmesi

Sveti Stefan kilisesi çelik bir yapı olduğu için en önemli hasar verici etken korozyondur (Şekil 12). İstanbul nemli bir iklime sahip olduğu için yapının havayla temas eden üst kısmında ince bir sıvı filmi oluşturabilmektedir. Yüzeyde oluşan sıvı film tabakası deniz kaynaklı olarak klor, hava kirliliği kaynaklı olarak da kükürt oksitler, azot oksitler gibi bileşikler içerirse korozyonun hızı artar. İstanbul'da kilisenin konumunun denizin hemen yakınında olması ve İstanbul'da hava kirliliğinin mevcut olması film tabakasını korozyon açısından daha riskli hale getirebilmektedir. Yapının restorasyon öncesi fotoğrafları incelediğimizde yüzeyde bulunan paslar bu riskin gerçekleşmiş olduğunu göstermektedir.

Restorasyon esnasında, çelik konstrüksiyonlu yapının, sac ve döküm cephe kaplamalarının bir kısmı söküldüğünde, yapıdaki çelik konstrüksiyonunun ileri derecede korozyona uğradığı tespit edilmiştir. Yapıda, statik tehlikeye neden olabilecek kesit kayıpları, metal yapraklanmaları, kopmalara varacak kadar metal erimeleri gözlemlenmiştir (TÜRKEV, 2020). Bu durum ancak cephe kaplamaları kaldırıldıktan sonra fark edilmiş ve proje ortaya çıkan yeni durumu giderecek biçimde değiştirilmiştir. Restorasyon sırasında yapıda artık görevini yapamayacak durumdaki 39 kolon değiştirilmiştir.

Kilisenin çatısı çinko kaplama olduğu için pastan çok fazla etkilenmemiştir restorasyon sırasında kaplama değiştirildi. Çatıdaki çelik sistem de aşağıdaki kadar bir bozulma olmamıştı. Bütün mermer basamaklar sökülüp zımparalanıp tekrar yerlerine konuldu. Döşemeler restorasyon öncesi yer yer kabarmıştı, kabarmanın sebebi döşemeyi oluşturan T profillerdeki paslanmaydı. Bu profiller de paslanmaz özellikli profillerle değiştirilmiştir (Bir Dünya Mirası, 2018).



Şekil 12. Restorasyon öncesi kilisedeki yüzey korozyonu (TÜRKEV, 2020)

Kilisenin yapıldığı yerdeki zeminin bozuk olması yapıda farkı oturmalara sebep olmuştur. Bu durum yapıda eğilme, yer yer çatlaklar ve ayrılmalara neden olmuştur (Şekil 13). Restorasyon öncesi yapılan sondajlarda sağlam zemin deniz tarafında 39 metre kara tarafında ise 19 metre olarak ölçülmüştü. Bu sonuçlar yapının ilk kurulduğu zamandan itibaren sağlam zemine oturmadığını göstermekteydi. Zemine en son müdahale İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından 2005-2006 yıllarında zemine çakılan 282 kazıkla olmuştur ve bu kilisenin denize doğru kaymasını önlemiştir. Restorasyon sırasında temel elemanları güçlendirilmiş zemin döşemesi iyileştirilmiştir (Bir Dünya Mirası, 2018).



Şekil 13. Bozuk zeminden kaynaklanan hasarlar (TÜRKEV, 2020)

4.3. Arap Han

İstanbul, Fatih'te bulunan Arap Han iki katlı kâgir bir yapıdır. İstanbul'da yoğun ticari faaliyetin olduğu yerlerden biri olan Demirtaş Mahallesi'nde bulunur. Taban oturumu 208 m²'dir. Bir iç avluya sahiptir ve avlu çevresinde odalar sıralanır, bu açıdan klasik Osmanlı hanlarına benzer. Han cephesi ise plan şemasının aksine 19. yüzyıldaki batılı etkileri yansıtan bir özellik gösterir.

4.3.1. Arap Han'ın konumu

İstanbul'da Fatih ilçesinde Demirtaş Mahallesi'ndeki Kible sokakta, 488 numaralı ada ve 2 numaralı parselde bulunur. İstanbul'da hanlar bölgesi denilen Eminönü semti ve çevresine yakın bir konumdadır.

4.3.2. Arap Han'ın tarihçesi

Arap Han'ın inşa tarihi ile ilgili kesin bir bilgi yoktur. Arap Han en erken 1892 tarihli Küçükpazar Yangın Haritasında (Şekil 14) görülmektedir. Harita o tarihlerde meydana gelmiş bir yangından sonra düzenlenmiştir. Pervititch Haritalarında (Şekil 15) Arap Han, Arap Oteli olarak geçmektedir. Söz konusu yıllarda Arap Han bekâr odaları şekline kullanılmış, daha sonra el değiştiren Han, demir işleri ile ilgili atölye ve depoların bulunduğu bir mekâna dönüştürülmüştür (Boyacıoğlu, 2010).



Şekil 14. Küçükpazar Yangın Haritası



Şekil 15. Pervititch Haritası 1943

Han günümüzde sadece depo olarak kullanılmaktadır. Han çevresindeki esnaflarla yapılan görüşmelerde, Arap Han'ın bir dönem otel gibi kullanıldığı, daha sonra depo, büro ve demir atölyesi gibi çeşitli işlevler için kullanıldığı öğrenilmiştir.

4.3.3. Arap Han'ın çevresel etkiler bazında incelenmesi

Taş kökenli malzemenin çevresel etkilerle bozulmasını incelemek için seçilen Arap Han kâgir, iki katlı bir yapıdır. Cephelerinde taş kaplama yapılmış, pencerelerdeki sövelerde volkanik tüf malzeme kullanılmıştır (Şekil 16). Yapı incelendiğinde uzun yıllar boyunca bakımsız kaldığı görülebilmektedir. Cephede sıva dökülmeleri, nem kaynaklı olarak duvarlarda çiçeklenmeler, yer yer yosunlanmalar oluşmuştur. Çatıda ve cephede rüzgârın taşıdığı tohumlar çimlenmiş ve bitki oluşumları meydana gelmiştir (Şekil 17). Bu durum iklimsel ve biyolojik kökenli etkilerle yapısal bozulmaların tüm binayı sardığını göstermektedir.



Şekil 16. Arap Han Cehesi



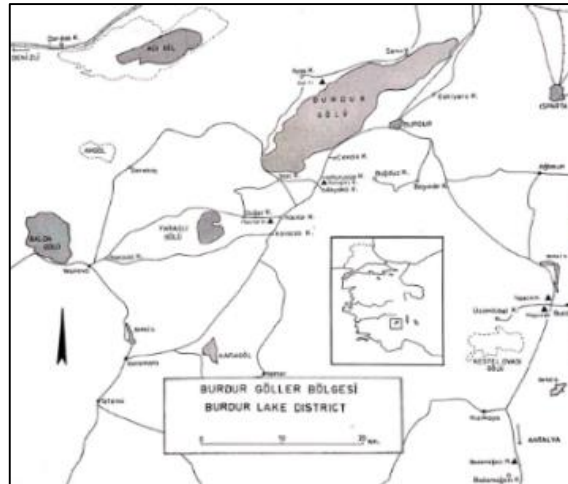
Şekil 17. Arap Han Çatısında Bitkilenme

4.4. Kuruçay Höyük

Burdur'da bulunur, İlk Tunç Çağından (İTÇ), Erken Neolitik Çağa (ENÇ) uzanan 13 ayrı yapı tabakası içermektedir. İlk yerleşimi ENÇ'de ve yaklaşık olarak M.Ö. 7100 yılına kadar uzanan bir yerleşim yeridir. Refik Duru başkanlığında 1978 yılından 1988 yılına kadar höyükte arkeolojik kazılar yapılmıştır.

4.4.1. Kuruçay Höyüğünün konumu

Burdur'dan batıya, Yeşilova yönüne giden karayolunun 15. km. sinde ve yolun güney tarafına düşen kısımda Kuruçay Köyü bulunmaktadır. Höyük ise köyün bir kilometre kadar batısında yer alır (Şekil 18). 90 m. çapında yuvarlak tabanlı tepenin doğal bir yükselti üzerindeki (Şekil 19) birikim konisi, yaklaşık 8 m. yüksekindedir. Höyük tepesinin deniz seviyesinden yüksekliği 960 m. kadar yüksekliktedir (Duru,1994).



Şekil 18. Kuruçay Höyük Konumu (Duru, 1994)



Şekil 19. Kuruçay Höyük (Duru, 1994)

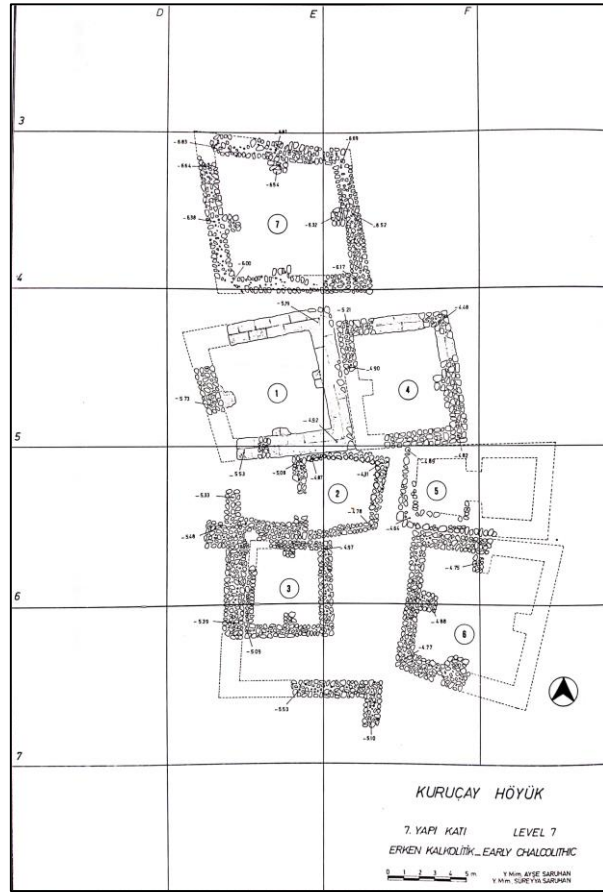
4.4.2. Kuruçay Höyüğünün tarihçesi

Kuruçay höyüğün bulunduğu bölgede, ona benzeyen tepeler olduğu için ilk bakışta ayırt edilememiştir. Bu nedenle höyüğün fark edilmesi hayli geç olmuştur. Burdur'daki başka bir tarihöncesi yerleşim yeri olan Hacılar da yapılan kazı ekibinden Judith Birmingham, 1964 yılında, bir arkeolog olarak ilk kez höyüğü gezmiş ve yüzeyden malzeme toplamıştır. O yıllarda Burdur'da depo niteliğindeki müzenin müdürü Nuri Balköse, höyüğe bu tarihten sonra birçok kez gitmiş ve köylülerce yapılan kaçak kazılarda ortaya çıkarılan buluntuları müzesine kazandırmıştır. Daha sonra müzeye tayin edilen müze görevlileri de höyüğe kayıtsız kalmamış Genel Müdürlüğü de höyüğün önemi konusunda uyarmış, kaçak kazıların devam ettiğini ve acilen höyükte bilimsel bir çalışma yapılması gerektiğini bildirmiştir. Nihayet 1978 yılında Refik Duru başkanlığında İstanbul Üniversitesi'nden bir ekip kazılara başlamış, kazılar 1988 yılında bitmiştir. Kazılar sonucu ortaya 13 yapı katı çıkarılmıştır (Duru, 1994).

4.4.3. Kuruçay Höyükteki yedinci yapı katının özellikleri

Kuruçay Höyükteki 13 yerleşim katından 7. kattaki (Şekil 20) mimari kalıntılar oldukça sağlamdır. Kerpiçten yapılmış sağlam duvarlara sahip olan bu yerleşme katı, toprak malzeme için çevresel etkilerin inceleneceği örnek olarak seçilmiştir.

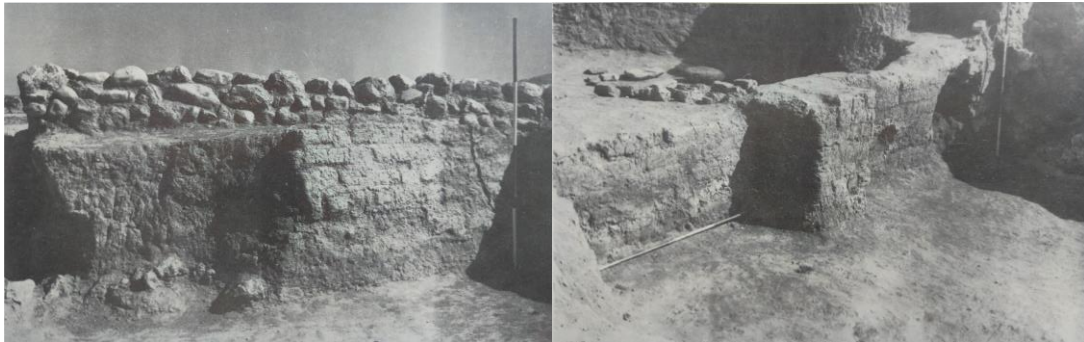
Erken Kalkolitik Çağın son yerleşim katı olan 7. katta bazıları yıkık olan yedi ev kazılmıştır. Yapım yöntemleri açısından daha eski katların yapılarından fazla farkları yoktur. Temeller 1 metre ya da daha kalın tutulmuştur. Tek dizi halindeki temeller orta boy toplama taşlarla yapılmış, bazen orta kesimlere taş kırıkları doldurulmuştur. Bu taş temel dizisinin üzerinin çamurla düzleştirilmesinin ardından, duvarların kerpiçle yükseltildiği saptanmıştır (Duru, 1994).



Şekil 20. Kuruçay Höyük 7. Kat Planı (Duru, 1994)

1. evin kerpiç duvarları çok sağlam haldedir (Şekil 22) ve 1.20 m. yükseğe kadar korunmuşlardır. Duvarlar 31x18x11 cm. ve 24x16x10 cm. ölçülerinde iki değişik boyutta kerpiçle örülmüşlerdir. Kerpiçlerin içinde bol saman, küçük taş ve bazen keramik parçaları bulunuyordu. Duvarların iç yüzeyleri özenle sıvanmıştı. Bazen bu sıvaların kalınlığı sürekli yenileme yüzünden 2 cm. ye varmıştı. Aşağıda 1 numaralı evin kerpiç duvarları görülmektedir. Şekil 21'deki duvar üzerindeki taşlar, bir üst yapı katı olan 6A yapı katının taş temelleridir (Duru, 1994).

Yukarıdaki 1 numaralı evde olduğu gibi 7. yapı katındaki bazı evlerin büyük yangınlarla tahrip olduğunu, kalın duvarların ortalarına kadar gelen ateşten etkilenen kerpiçlerin tuğlalaşmasından anlamak mümkündür. Böyle bir yangın için evde ve çatıda ağacın bol kullanılması gerektiği düşünülmektedir, ancak bu yapıda ağaç kalıntısına, kömürleşmiş ahşap izine rastlanmamıştır (Duru, 1994).



Şekil 21 ve 22. 7. Katın 1 Numaralı Evinin Kerpiç Duvarları (Duru, 1994).

7. kattaki yapıların plan özellikleri incelendiğinde 2 numaralı ev dışındaki yapıların planlarının benzer olduğu görülmektedir. Evler kareye yakın veya hafif yamuk planlıdır. Evlerin ölçüleri değişiktir, aynı ölçüde ev yoktur. En büyük ev 7 numaralı evdir ve ölçüleri içten içe 8.00x7.50 m. dir. En küçük evin ölçüleri de 5.00x4.00 m. ile 3 numaralı evdir. Yapıların hepsinde odaların iç kısmına bakan duvarlarında küçük çıkıntılar ve payandalar vardır. Payanda ölçüleri 40-65 cm ile 80-110 cm. arasındadır ve sayısı 2 ile 4 arasında değişmektedir (Duru, 1994).

Evler arasında sokak denebilecek dar aralıklar veya meydan denilebilecek açıklıklar olmakla birlikte planlanmış bir sokak sisteminden bahsetmek mümkün değildir. Genelde evlerin bir arada bulunması istenmiş ve bu yönde planlama yapılmış gibi görülmektedir. Ancak 7. yapı katının savunması hakkında kesin bir bilgi elde edilememiştir. Güneyde bulunan L şeklindeki duvarın bir sur yapısının parçası olabileceği mümkün görülebilmektedir. Bu yapı katının batı kesimi ise aşağı uçmuştur ve bu bölümle ilgili herhangi bir veri yoktur. Diğer kenarlarda da sur ile ilişkisi olabilecek herhangi bir kalıntı bulunamamıştır (Duru, 1994).

4.4.4. Kuruçay Höyüğü'nün çevresel etkiler bazında incelenmesi

Kuruçay Höyüğü'nün bulunduğu Burdur'da iklim geçiş özelliği gösterir. İç Anadolu'nun karasal iklimi ile Akdeniz İkliminin bileşimi denilebilecek türden bir iklim bölgeye hâkimdir. Yazın Akdeniz bölgesindeki gibi sıcak, kışın da İç Anadolu Bölgesindeki kadar soğuk değildir. Yıllık ortalama sıcaklık 13.3°C'dir. Yağışın büyük bölümü kış aylarında kar ve yağmur olarak düşer, yazları ise sıcak ve kuraktır. Yıllık ortalama yağış 426.9 mm. dir.

Kuruçay Höyük, tarihi M.Ö. 7100'e Erken Neolitik Çağa uzanan önemli bir yerleşim yeridir. Mimari öğeler olarak ahşap, kerpiç ve taş kullanılmıştır. Kazılar sonucu ortaya çıkarılmış olan bu tarihöncesi yerleşim yerinin korunması da büyük bir önem arz etmektedir. Kerpicin hammaddesi düşünüldüğünde yağışlara doğrudan temasının onu bozucu etkilerinin olması kaçınılmazdır. Sıcaklık değişimleri de kerpiçte her maddede olduğu gibi genleşme ve büzülme yol açar bu durum kerpiçte çatlamalara yol açabilir. Yağışlar ve sıcaklık farklarının yanında, rüzgârla taşınan tohumların neden olabileceği bitkilenme ve böcek ya da küçük hayvanların açabileceği oyuklar kerpiç malzemedeki bozulmayı hızlandırabilir.

Ankara yakınlarındaki Hacı Tuğrul Höyüğü'ndeki kerpiç duvarlar, açıkta kalmalarından dolayı kısa sürede aşınmıştır. Bu nedenle, dış etkenlere karşı dayanımı düşük malzemeler ve öğelerin bulunduğu yerlerde, yapıları doğal etkenlerden korumak için koruyucu çatılar yapılmaktadır. Koruyucu çatılar, boyutları ve biçimleriyle arkeolojik alana yeni bir görünüş getirdiklerinden, alana saygılı bir şekilde tasarlanmalıdır (Ahunbay, 2010).

Arkeolojik alandaki çatıların farklı etkiler yaratarak, arkeolojik alanın önüne çıkması istenmeyen bir durumdur. Geniş arkeolojik alanları örten uzay kafesler, yepyeni, çağdaş biçimleriyle odak noktası olmakta ve alana yabancı durmaktadırlar. Ancak geniş alanlarda böyle bir sorundan kaçınmak mümkün olamayabilir. Türkiye'de de olumlu ve olumsuz eleştiriler almış pek çok koruyucu çatı örneği yapılmıştır. En eski örneklerden biri Karatepe saçaklarıdır (Şekil 23). Efes'te Yamaç Evlerini örtmek için yapılan çatılar arkeolojik ortam içindeki parlak, iri kütleli etkileriyle eleştirilmiştir. Çatalhöyük'te yapılan çatılar (Şekil 24) ise geniş bir alanı örten hafif yalın strüktürleriyle başarılı örnekler arasında sayılmaktadır (Ahunbay, 2010).



Şekil 23. Karatepe Saçakları (İtez, 2017)



Şekil 24. Catalhöyük'te Koruyucu Çatı (Çat,2021)

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada araştırılan çevresel faktörler ve etkileri, anıtsal yapılar bazında incelenmiştir. Ahşap yapıya örnek olarak seçilen Rum Yetimhanesinde uzun yıllardır bakımsızlığın sonucu olarak yıkılma tehlikesinin bulunduğu gözlenmiştir. Yapının restorasyon ihtiyacının giderilmesinden sonra, yaşatılması için uygun bir işlevle hayatta kalması sağlanması gerekmektedir. Ahşap yapıların sürekli bakım ihtiyacı olduğu için gelir getirici işlevlerin düşünülmesi gerekir. Büyük bir yapı olduğu için tek bir tür işlev yerine, yapının karakterine uyacak birkaç işlev de verilebilir. Ancak yapılacak en acil iş, yapının daha fazla atmosferik etkiye maruz kalmasını engellemek ve binanın çökmesini önlemek adına, onu atmosferik etkilerden koruyacak bir üst örtünün inşa edilmesi olacaktır.

Metal yapı örneği olarak seçilen Sveti Stefan Kilisesi için hazırlanan ilk restorasyon projesi cephede görülen çatlakların giderilmesi, paslanma görülen yerlerin tamiri gibi dar kapsamlı olmuştur. Cephede temizliğe geçildiğinde sökülen kaplamaların altında korozyonun çok daha ciddi boyutta olduğu görülmüştür. Bu nedenle restorasyon projesinin kapsamı genişlemiştir. Bu durum, anıtsal yapılarla ilgili restorasyon projeleri hazırlanırken, her türlü detayın hesaba katılması gerektiğinin görülmesi açısından önemlidir.

Taş yapı örneği Arap Han olmuştur. Mimari özellikleri açısından kendisine has bir durumu vardır. Mekân kurgusu bakımından klasik, cephe tasarımı açısından ise Avrupa etkileri taşımaktadır. Bu yapı da ilgisizliğin ve bakımsızlığın etkilerini yaşamaktadır. Ticaret bölgesinde olduğu ve o amaçla inşa edildiği için bu karaktere uygun bir işlev verilmesinin, yapının yaşaması bakımından daha uygun olacağı düşünülmektedir. Arap Han'ın bulunduğu bölgede, ona benzer durumda olan çok sayıda yapı vardır. Bölgeye bütünsel bir yaklaşımın olması daha faydalı olacaktır ancak bu yaklaşımın getireceği büyük çaptaki projenin finansmanının, mevcut koşullarda pek de karşılanamayacağı görüldüğü için bölge adına ortaya karamsar bir tablo çıkmaktadır.

Toprak kökenli malzemede verilen örnek Kuruçay Höyük olmuştur. Höyükte bulunan yapıların eskilik ve tarihi değeri olması nedeniyle belgelenmesi son derece önemlidir. 1988 yılında sona eren kazılarla belgelemesi tamamlanmıştır. Kuruçay höyükte bulunan kerpiç duvarlar, atmosfer

etkilerine maruz kalması durumunda bozulabilmekte hatta yok olabilmektedir. Bu riskin bertaraf edilmesi adına Höyük, Türkiye ve Dünya'daki bazı benzer örneklerdeki gibi bir üst örtü ile atmosfer etkilerine karşı korunmalıdır. Bölgeye yapılacak her türlü müdahale de Höyüğün özgün durumuna herhangi bir zarar vermeyecek biçimde olmalıdır.

Çevresel etkiler sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, kaynak akışı sürecinde, kaynak girdilerinin azaltılması, kaynak çıktılarının geri dönüşümü, yeniden değerlendirilmesi ve etkin atık yönetimi çevresel kirliliği azaltacaktır (Gezer, 2013). Çevre kirliliği, havaya, suya ve toprağa birtakım kimyasal maddelerin salınımı sonucu oluşmaktadır. Atık olarak değerlendirdiğimiz bu maddeler çevresel koşulların zarar verici özelliğini arttırmaktadır. Asit yağmurları ilk akla gelebilecek örneklerden biridir. Kaynak çıktılarının kontrolü çevreye duyarlı bir bakış açısıyla yapıldığında, zararlı atık miktarı da azalacaktır. Azalan atık çevresel etkilerin hasar derecesini düşürecektir.

Çevre koşullarının kültür mirası üzerindeki olası etkilerinin bertaraf edilebilmesi için malzeme özelliklerinin iyi tanınması, eserde kullanılacak malzemelerin iyi seçilmesi müdahale sonrası uzun yıllar boyu yeni bir müdahaleye ihtiyaç duyulmaması sağlanmalıdır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır. Bu çalışmada Leyla SURİ fikir, eleştiri, kritik, yazım dili, makalenin ana çatkısının kurulması ve sınırların belirlenmesi konusunda katkıda bulunmuştur. Halil İbrahim SAĞDIÇ araştırma, veri toplama, analiz, yorum, kaynak taraması, makalenin yazımı ve çizimler konusunda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Yazarların bu konuda bir beyanı mevcut değildir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Ahunbay, Z. (2010). Arkeolojik alanlarda koruma sorunları kuramsal ve yasal açılardan değerlendirme, *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 8, 103-118.
- Ahunbay, Z. (2017). Tarihi çevre koruma ve restorasyon (9. Baskı). *YEM Yayın*, İstanbul.
- Asatekin, N.G., (2004). Kültür ve doğal varlıklarımız neyi, niçin, nasıl korumalıyız. *Kültür Varlıkları ve Müzeler Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara.
- Bir Dünya Mirası, (2018). Çelik yapılar, https://www.tucsa.org/tr/celik_yapilar_yazi.aspx?yazi=812 adresinden 26 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Boyacıoğlu, D., (2010). Arap Hanı ve yapının 18.-19. yüzyıl İstanbul hanları içindeki yeri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 15 (2), 9-21.

- Büyükmişçi, G. (1999). *Atmosferik Olayların Taş Malzeme Üzerindeki Etkileri, Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü. Kocaeli.
- Ceylan, O. (1995). Büyükada Rum Yetimhanesi, dünden bugüne İstanbul ansiklopedisi (Cilt 2, s. 354). *Kültür Bakanlığı ve Tarih Vakfı Ortak Yayını*, İstanbul.
- Çat, Z.M, Ceylan, K. & Asil, M. (2021). Anadolu’nun hafızası antik kentler; Çatalhöyük, Hattuşa, Kültepe. <https://www.aa.com.tr/tr/kultur-sanat/anadolunun-hafizasi-antik-kentler-catalhoyuk-hattusa-ve-kultepe/2213255> adresinden 26 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Çatal, S., (2007). *Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakasının fosforik asit (H₃PO₄) anodizing yöntemi ile geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi]. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Çiçekliyurt, G., (2020). *İstanbul’da bağımsız bir bulgar kilisesinin kurulma aşaması ve Sveti Stefan Kilisesi* [Yüksek lisans tezi].Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Ankara.
- Doğan, G., (2006). *Atmosferik Korozyonun metal yapı malzemelerine etkisi üzerine deneysel bir çalışma ve yapay sinir ağı ile korozyon hızı tahmini* [Yüksek lisans tezi]. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.
- Duru, R. (1994). Kuruçay Höyük I. *Türk Tarih Kurumu Yayınları*, Ankara.
- Eldem, S. H. (1993). Boğaziçi yalıları Rumeli yakası. C.1. *Vehbi Koç Vakfı*, İstanbul.
- Eriç, M. (2010). Yapı Fiziği ve Malzemesi (3. Baskı). *Literatür Yayıncılık*, İstanbul.
- Europa Nostra. (2019). Basın Duyurusu. Büyükada Rum Yetimhanesi rehabilitasyonu için Europa Nostra ve Avrupa Yatırım Bankası Enstitüsü uzmanlarının hazırladığı rapor yayınlandı. <http://www.europanostra.org.tr/buyukada-rum-yetimhanesi-avrupanin-tehlike-altindaki-7-kulturel-miras-programi-raporu-yayinlandi/> adresinden 26 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Gezer, H., (2013). Geleneksel Safranbolu evlerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 12(23), 13-31.
- Google Maps. (2022a). <https://www.google.com.tr/maps/@40.8663655,29.0587004,12z> adresinden 22 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Google Maps. (2022b). <https://www.google.com.tr/maps/@41.0317624,28.9496539,15z> adresinden 22 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Hattap, S.E. (2002). *Doğal taş malzeme koruyucuların performans ölçümünde deneysel metod araştırması* [Doktora tezi]. MSGSU, İstanbul.
- İtez, Ö. (2017). Karatepe Aslantaş Açık Hava Müzesi. <https://www.arkitera.com/proje/karatepe-aslantas-acik-hava-muzesi/> adresinden 28 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Kara, M. (2021, 28 Ağustos). *Büyükada Rum Yetimhanesinin restorasyon sürecinde ortak hareket çağrısı*. <https://www.aa.com.tr/tr/kultur-sanat/buyukada-rum-yetimhanesinin-restorasyon-surecinde-ortak-hareket-cagrısı/2348712> adresinden 26 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.

- Kazma, A., Winchester, D., Germen, M., & Büyüktaşçıyan, H. (2018). 206 odalı sessizlik: Büyükkada Rum Yetimhanesi üzerine etüdler. https://hakikatadalethafiza.org/wp-content/uploads/Hafiza-Sanat/KAYNAKLAR/206OdaliSessizlik_GalataRumOkulu_2018.pdf adresinden 06 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Kuban, D. (2017). İstanbul bir kent tarihi (3. Baskı). *Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları*, İstanbul.
- Odabaşı, Y. (2000). Ahşap ve çelik yapı elemanları (3. Baskı). *Beta Basım*, İstanbul.
- Oğurlu, İ., (2014). Çevre – kent imajı – kent kimliği – kent kültürü etkileşimlerine bir bakış. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 13(26), 275-293.
- Özgünler, S. A., (2007). *Tarihi yapılarda kullanılan volkanik tüflerin konservasyonu üzerine bir araştırma: Od taşı örneği* [Doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Sarıçamlık, K., (2021). *Doğal taş koruma uygulamalarında su iticilerin etkileri: Organik Kireçtaşı (Küfeki) örneği* [Yüksek lisans tezi]. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul.
- Seyfeli, C., (2011). Osmanlı Devleti Salnamelerinde Bulgar Eksarhlığı ve Bulgar Katolikler. *Ankara Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*. 52(2), 157-190.
- Smith. R.R.R. (2018). Aphrodisias 2018 sonuç raporu. <http://aphrodisias.classics.ox.ac.uk/tr/Aphrodisias-2018-RAPORU.pdf> adresinden 16 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Şener, A.B., (2021). *Kars İli, Elbeyli İlçesi, Çıldıroba Köyündeki geleneksel kerpiç yapıların mimari özellikleri ve koruma sorunları üzerine bir araştırma* [Yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Tekel, H. (2017). Yapılarda hasar tespiti yöntemler ve uygulamaları. *Bizim Büro Matbaa*, Ankara.
- Tekin, Ç., Diri, A. C. , Bonfil, J. (2016). Mimari yapılarda su yalıtımı (2. Baskı). *YEM yayın*. İstanbul,
- Türkçü, H. Ç. (2017). Yapım ilkeler malzemeler yöntemler (6. Baskı). *Birsen Yayınevi*. İstanbul.
- Türkiye Tarihi Evleri Koruma Derneği TÜRKEV (Yapımcı), (2020). Bulgar Kilisesinin Restorasyonu, Fikriye Bulunmaz, Mimar / Restoratör [Video Dosyası]. https://www.youtube.com/watch?v=e8QC_bU8nnQ adresinden 11 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- Ünsal, N.(2019). İnşaat mühendisleri için jeoloji (4. Baskı). *Nobel Yayıncılık*. Ankara.
- Yalçın, H., Koç, T. (1997). Mühendisler için korozyon. *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*. Ankara.
- Yesügey, S.C., Karaman, Ö. Y., Güzel, N. (2014). Ahşap malzemeli konut teknolojisi. *Yalın Yayıncılık*. İstanbul.

- Yılmaz, H. (2020). Tarihe asırlık tanık: Büyükada Rum Yetimhanesi. Tunçsiper, B., İnan, D. (Ed.), Beşeri bilimler ekseninde güncel araştırmalar: Kuramlar, kavramlar, uygulamalar, (105-118). *Kriter*. İstanbul.
- Zakar, L. (2013). *Restorasyon uygulamalarında kullanılan çağdaş teknikler* [Yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.



Research Article / Araştırma Makalesi

**EVALUATION OF CURING TIME FOR MICRO CONCRETE MIXES
CONTAINING SILICA FUME, NANO-SILICA AND FLY ASH**

**SİLİKA DUMANI, NANO-SİLİKA VE UÇUCU KÜL İÇEREN MİKRO BETON
KARIŞIMLARI İÇİN KÜR SÜRESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Serkan ETLİ¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1093891>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
serkanetli@munzur.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
26.03.2022

Accepted/ Kabul Tarihi
10.08.2022

Abstract

Within the scope of the study, research on the use of silica fume (SF), nano silica (NS) and fly ash (FA) together or separately in the production of micro concrete is presented. It is aimed to examine the changes in mechanical properties because of water and air curing in mixtures produced using SF, FA, and NS. While cement dosage and water/binder ratio in the mixtures were chosen as 670 kg/m³ and 0.53 respectively, the amount of SF, FA and NS was limited to 150 kg/m³ in total. In the study, samples were produced using 40x40x160 mm prism molds. All samples were divided into two different groups after 7 days of water curing and water (1st group) and air (2nd group) were applied up to 56 days. Flexural and compressive strength tests were performed on the water and air cured specimens for 7-56 days and 28-56 days, respectively. In addition, the porosity and unit volume weight values of the samples were examined. The results show that both flexural and compressive strengths of micro concretes increased after 28 days thanks to water curing.

Keywords: Fly ash, micro-concrete, nano silica, silica fume.

Öz

Çalışma kapsamında mikro beton üretiminde silis dumanı (SD), nano silika (NS) ve uçucu külün (UK) birlikte veya ayrı ayrı kullanımına yönelik araştırmalar sunulmaktadır. SD, UK ve NS kullanılarak üretilen karışımlarda su ve hava kürlenmesi nedeniyle mekanik özelliklerde meydana gelen değişikliklerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Karışımlarda çimento dozajı ve su/bağlayıcı oranı sırasıyla 670 kg/m³ ve 0.53 olarak seçilirken SD, UK ve NS miktarı toplamda 150 kg/m³ ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada 40x40x160 mm prizma kalıpları kullanılarak numuneler üretilmiştir. Tüm numuneler 7 gün su küründen sonra iki farklı gruba ayrıldı ve 56 güne kadar su (1. grup) ve hava (2. grup) uygulandı. Su ve hava ile kürlenmiş numunelere sırasıyla 7-56 gün ve 28-56 gün boyunca eğilme ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin gözeneklilik ve birim hacim ağırlık değerleri incelenmiştir. Sonuçlar, su kürü sayesinde mikro betonların hem eğilme hem de basınç dayanımlarının 28 gün sonra arttığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikro beton, nano silika, silis dumanı, uçucu kül.

¹University of Munzur, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Tunceli, Türkiye.
serkanetli@munzur.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3093-4106.

1. INTRODUCTION

Micro-concrete is a type of cement-based material that is produced with aggregates reduced to the level of cement fineness when choosing the maximum aggregate particle size and can offer many usage options. Considering these usage purposes, it may be possible to use it selectively, especially during the repair or strengthening of reinforced concrete structures, if the micro-concrete mixture and its components are selected and used in appropriate proportions. On the other hand, it has a production potential as an element that can be used as a plate in prefabricated buildings (Felekoğlu, 2009). The term micro-concrete was first used in the 1960s-70s to describe mixtures without coarse aggregates prepared for the purpose of modeling the structures to be produced in small scales with reinforced concrete at scale suitable for research (Aldridge & Breen, 1970; Litle & Paparoni, 1966). An example is the use of different types of micro-concrete designs for repair purposes for a different use (Dhir & Roderick Jones, 1996; Jumaat et al., 2006; Nounu & Chaudhary, 1999). Another feature is that they can be produced as panel elements thanks to various molding properties and methods, and the micro-concrete products that researchers have patented and produced are also included in the literature (Felekoğlu, 2009).

With the increasing population rate, a global increase in housing and building stock is formed. It creates an increasing trend in the interest in concrete/reinforced concrete, which is a fast and traditional production technique. This situation is increasing in parallel with the new construction and repair works and the cement industry. Consumption that occurs in parallel with this increased capacity is considered as the cement industry being among the industries that consume the most energy. Moreover, approximately 6-7% of annual global human-induced CO₂ emissions are produced by this sector (Biricik & Sarier, 2014; Pacheco-Torgal et al., 2013; Palomo et al., 2011; Sanchez & Sobolev, 2010). There are many studies by researchers to minimize the dosage of cement used in the reinforced concrete and concrete-based construction industry (Pacheco-Torgal et al., 2013). Compounds or mixtures with different properties have been experimentally investigated instead of ordinary Portland cement, which is required to reduce cement usage, instead of cement-specific materials (Said et al., 2012; Zhang & Islam, 2012) with pozzolanic or hydraulic binding properties. Among the cement composites, fly ash (FA) and silica fume (SF) (Hou et al., 2013; Jo et al., 2007) are most common, which are deposited as by-products or waste products by the coal industry and the silicon-ferrosilicon industry, respectively. When FA and SF are used, they improve durability properties as well as long-term strength gains like cement composites, mainly due to pozzolanic reactions with calcium hydroxide that occur during the hydration of calcium silicates (Gaitero et al., 2010; Garboczi, 2009; Hou et al., 2013; Jo et al., 2007; Mazloom et al., 2004). On the other hand, there are concerns about some property improvements in the production process of blends formed with FA or SF. For example, strength development in concrete produced with F class FA is slower than normal concrete. For this reason, it is not preferred in many applications that require early strength, such as the need for repair or rapid construction (Said et al., 2012; Zhang & Islam, 2012). On the other hand, although SF has a large specific surface area, it exhibits a more sensitive behavior in terms of plastic shrinkage in concretes where it is used compared to other concrete types (Al-Amoudi et al., 2004). Recently, the substitution of nanoparticles into cement paste, mortar and concrete produced with ordinary Portland cement (OPC) and its ability to produce superior mechanical and physical properties in OPC-produced concrete-derived formations has created an interesting field. This has been demonstrated by studies that nanotechnology can be directly applied in the construction industry (Lee et al., 2010). In this respect, studies in the literature show that the inclusion of products containing nanoparticles in the concrete content improves the fresh and hardened state properties compared to the mineral additives traditionally used in concrete mixes (Lee et al., 2010; Li et al., 2004; Mukhopadhyay, 2011). In this context, it shows that the nanoparticle SiO₂ (nano silica, NS) component may become an increasingly important component for special concretes and other advanced cement-based productions. Thanks to the particle size that can be produced at nanoscale,

a high surface-area/volume ratio is achieved, while at the same time, it has been shown that advanced chemical reactivity potential can occur in concrete thanks to its amorphous silicon dioxide structure (Biricik & Sarier, 2014; Fahmy et al., 2020; Jalal et al., 2015).

Within the scope of the study, micro concrete mixtures were produced using SF, FA and NS. In the mixtures produced, in addition to the mixtures containing only SF, only FA and SF-FA, a total of 4 mixtures containing SF-FA-NS were produced. In addition to the effects of these different combinations used on microconcrete, it is aimed to examine the effects on the mechanical properties of these mixtures as a result of water curing and air curing. For this purpose, a preliminary evaluation study on the combined use of SF, FA and NS contents in micro concrete is presented. In addition, 2 groups of sample orders were created in the study. The first group consists of samples that are cured with water curing for up to 7 days and await the next test age. In the second group of samples, there are samples that are tested after water curing up to 28 days of age. Both sets of samples were subjected to compression tests after the flexural tensile test.

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL CAMPAIGN

Within the scope of the study, the details of the materials used in the production of the mixtures and the methodological procedures showing the production and post-production test stages are included in the sub-headings. A brief flowchart of the study methodology is given in Figure 1.



Figure 1. Experimental Workflow

2.1. Materials

CEM-I 42.5R Portland cement, SF, FA, and NS were used as binders in the mixtures produced within the scope of the study. The micro-aggregate river sand in the mixtures was sieved through a 1 mm perforated sieve. Chemical properties of SF, FA, NS, and cement are given in Table 1. Sieve analyzes of microaggregates obtained by sieving are given in Figure 2.

Table 1. Chemical Composition of Binder

Chemical composition (%)	Portland Cement	Silica Fume	Fly Ash	Nano Silica
SiO ₂	19.79	90.75	60.94	99.8
AlO ₃	3.96	-----	-----	-----
Al ₂ O ₃	3.85	0.72	20.66	-----
Fe ₂ O ₃	4.15	2.29	7.95	-----
CaO	61.84	0.56	2.32	-----
MgO	3.22	-----	-----	-----
K ₂ O	-----	1.51	-----	-----
Na ₂ O	-----	0.55	1.56	-----
SO ₃	2.32	0.51	0.11	-----
P ₂ O ₅	-----	-----	-----	-----
TiO	-----	-----	-----	-----
Cr ₂ O ₃	-----	-----	-----	-----
Mn ₂ O ₃	-----	-----	-----	-----
MgO	-----	-----	-----	-----
Loss of ignition	0.87	3.11	1.92	-----
Blaine (cm ² /g)	3260	2108	3790	150000

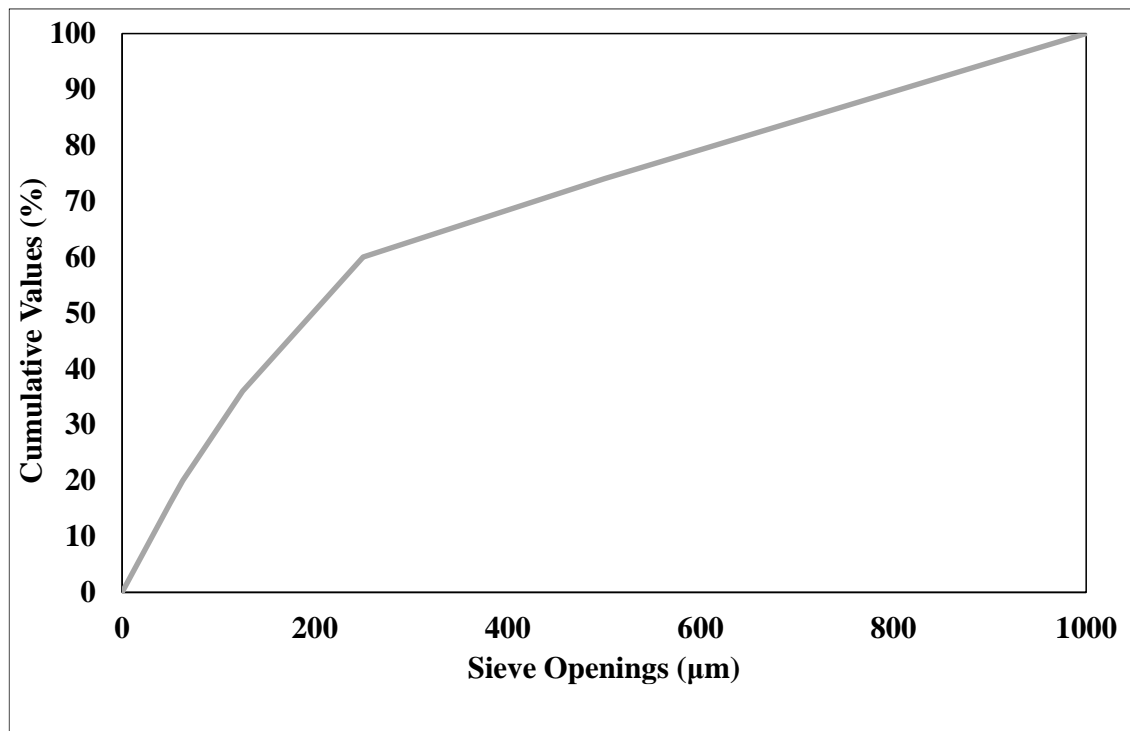


Figure 2. The Sieve Analysis of Micro Aggregate

In addition, water, and superplasticizer, namely polycarboxylate ether-based water-reducing chemical additive (HRWR) was used to increase the workability capacity of the blends. In this way, it is aimed to maintain the homogeneity of the mixtures produced, as well as to have high fluidity capacities. The specific gravity values used for cement, SF, FA, NS and HRWR, which are the materials used in the mixtures produced as micro-concrete, were calculated as 3.1, 2.2, 2.00, 2.2 and 1.055, respectively.



Figure 3. Mix materials a) Cement, b) SF, c)NS, d)FA and e)micro aggregate

2.2. Mix Design

The mixtures produced were produced in 4 groups. Each mixture group has a total binder content of 820 kg/m^3 . The amounts of SF, FA and NS in the mixture were used as 150 kg/m^3 . Therefore, the amount of Portland Cement in each mixture is 670 kg/m^3 . In the mixtures produced, natural river sand was sieved and used instead of microaggregate (0-1 mm). A total of 4 mixtures were produced. In the group mixtures produced, $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ prism samples were produced for mechanical testing for each mixture. For each mix group, 15 samples were produced.

During the preparation of the produced micro-concrete components by mixing, it was produced homogeneously with the help of a standard mortar mixer specified by the existing standards (ASTM, 2009) until the total homogeneity of the mixture was observed. As summarized in Table 2, the water/binder (w/b) ratio of 0.53 was used in the mixtures. The amount of water used was calculated as 434 kg/m^3 . The mixtures were basically produced in 2 groups and the contents of SF, FA and NS were changed in these groups, provided that the dosage of the binder remained constant. When the mixtures were examined, the binder content was 18% SF in the first mixture, 9% SF and 9% FA in the second mixture, 6% SF, 10% FA and 2% NS in the third mixture. The mixtures were completed by using 18% FA of the binder dosage in the final mixture (Table 2).

Table 2. Mix Design

	Cement	Silica Fume	Fly Ash	Nano Silica	Water	HRWR	Micro-aggregate
MIX-ID	kg/m^3						
MC1	670	150	0	0	434	13	1130
MC2	670	75	75	0	434	13	1130
MC3	670	50	83	17	434	13	1130
MC4	670	0	150	0	434	13	1130

2.3. Sample Facture and Mixing Procedure

During the production of micro concrete, a standard mixer given in Figure 4a was used. In addition, the flowability of the produced micro-concrete mixtures was checked using mini-slump and their

workability was tested. In the first stage of mixing, the dry mix of micro-concrete cement, SF, FA, NS and micro-aggregate was mixed for one minute. Then, 1/3 of the mixing water was added to the dry mixture and mixed for 1 more minute. Afterwards, 2/3 mixing water and HRWR were added to the mixture by mixing and the mixture was continued for 1 more minute. Finally, the mixture, which was rested for 30 seconds, was mixed for 1 more minute and placed in the molds after being visually and manually examined. The images obtained during the mini slump flow test are given in Figure 4b. The fresh mixtures produced were filled into 40x40x160 mm prism molds (Figure 4c). The samples were removed from these molds after 24 hours (Figure 4d) and allowed to water cure at $20\pm 2^\circ\text{C}$ (Figure 4e). While the samples were curing, one batch was removed from the pool after the 7-day curing period, and the remainder continued to cure for 28-days. After the completion of the curing periods in water, the remaining samples for the 7-, 28- and 56-days tests were taken from the curing tank.

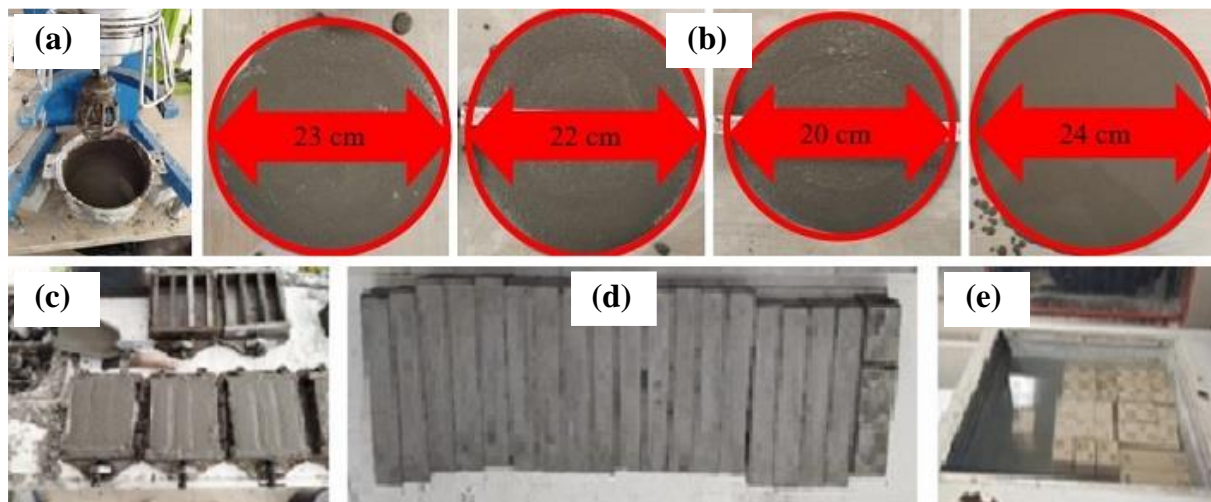


Figure 4. a) Mixer, b) Slump Flow c) Molding, d) Demolding and e) Water Curing

2.4. Hardened State Testing Procedure

The mixtures produced were filled into metal molds while they were fresh and removed from the molds after 24 hours. Afterwards, the samples were left to cure in lime-saturated water at $20\pm 2^\circ\text{C}$. Within the scope of the study, mechanical tests were applied to 7-, 28- and 56-days old samples. Flexural and compression tests were performed in accordance with ASTM C348-14 (ASTM C348-19, 2018) and ASTM C349 (ASTM C349-08, 2014). 40x40x160 mm prism molds were used to determine the effects of 7-, 28-, and 56-day age water curing times on flexural and compressive strength. Three prismatic samples were used for testing from each mixture and age group. Firstly, the broken prisms obtained from the flexural tensile test were used for the determination of compressive strengths after testing for the prism specimens subjected to the flexural tensile test. The compressive strength of the fractured prisms was also determined at 7-, 28-, and 56-days ages. The load value obtained because of the flexural strength test according to the ASTM C348-14 (ASTM C348-19, 2018) code was converted to the flexural strength value by using the $S_f=0.0028\times P$ equation. In this equation, S_f and P are defined in the relevant standard as flexural strength and maximum load, respectively. The units of S_f and P used in the equation are MPa and N, respectively. In addition, for the compressive strength of the broken prisms after the flexural test, the test in accordance with the ASTM C349 (ASTM C349-08, 2014) standard was applied and the compressive strength was obtained using the $S_c=0.00062\times P$ equation. In this equation, S_c and P are defined in the relevant standard as compressive strength and maximum load, respectively. The units of S_c and P used in the equation are MPa and N, respectively.

Axial compressive strength tests were applied to the prism samples produced within the scope of the study, to the prism parts that were divided into two after the flexural tensile strengths. During the application, a loading speed of 0.9 kN/s was realized with a universal test device. Since the average of 3 prisms was taken in flexural tensile strength, it was applied to 6 broken prism pieces consisting of these prisms in the compressive strength tests. Flexural tensile strengths tests were applied to the prism samples produced within the scope of the study. During the application, a load of 0.5 kN/s was made with a universal test device. When presenting the results obtained, the mix ID is coded for water-cured samples by adding the term "-W". Similar to the air-cured portions, the mixture is coded in the notation by adding the term "-A" next to the mix ID.

In the study, 2 groups were formed, the first group was taken to the laboratory environment after curing in water for 7 days, and wet tests were performed for 28 and 56 days. In the second group, after completing the 28-day age with cure, mechanical testing was performed at 28 and 56 days of age. Three 40x40x160 mm prisms containing air and water cure were randomly selected for each design set for flexural strength testing according to ASTM C348 (ASTM C348-19, 2018). Then, the axial compressive strength test according to ASTM C349 (ASTM C349-08, 2014) was performed on the parts consisting of broken prisms (Figure 5b). Hardened prisms and instant test views are shown in Figure 5a.

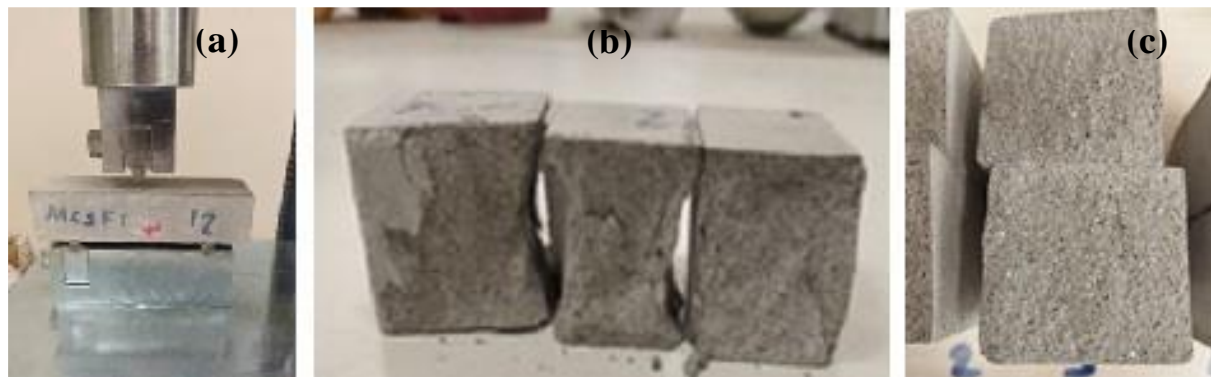


Figure 5. a) Prisms for Flexural Strength, b) Broken Prisms After Test and c) Fracture Surface in Flexure

2.5. Porosity and Bulk Density Tests

It is stated in the literature that it provides information about cohesion, discontinuity and porosity thanks to porosity and bulk density tests (Torres & García-Ruiz, 2009). For this reason, porosity and bulk density tests were carried out in accordance with ASTM C-642 (ASTM C642-13, 2014) standard recommendations, as soon as 28-day-old prism samples were cured. Within the scope of porosity and bulk density tests, the weights of prism samples in water and surface dry saturated weights were measured. Weight measurements using the ASTM C-642 standard have been made within the scope of other studies in the literature from past to present (ASTM C642-13, 2014). After the water contact weights were taken, the samples were kept in an oven at 100 ± 2 °C for 24 hours until their weights remained constant. The porosity and bulk density of the samples were calculated according to ASTM C-642 (ASTM C642-13, 2014). The *Porosity* (%) = $(w_3 - w_1)/(w_3 - w_2)$ and *Bulk Density* = $w_1/(w_1 - w_2)$ equations are used to make these calculations. In the equation, w_1 is the final weight that the samples could reach at a constant temperature, w_2 is the measured weight of the fully saturated sample, and w_3 is the weight of the surface-dried saturated.

3. RESULTS

3.1. Flexural Strength Test Results

Obtained results are presented in the Figure 6. Within the scope of the study, the flexural tensile strengths of MC1-W, MC2-W, MC3-W and MC4-W mixture samples at 7 days of age were obtained as 4.303, 4.321, 3.845 and 6.291 MPa, respectively. The flexural tensile strength of the mixtures obtained after 28 days of water curing increased by 14%, 37%, 77% and 11%, respectively, compared to the results obtained after 7 days. When the results obtained at the age of 56 days were examined, it was observed that there was an increase of 86%, 69%, 150% and 16% compared to the flexural tensile strengths obtained at the age of 7 days (Figure 6).

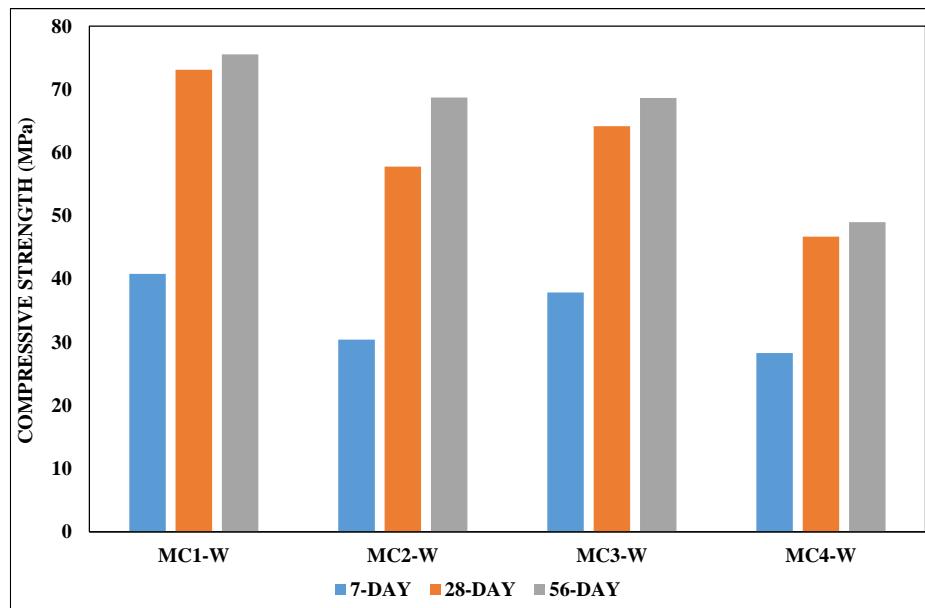


Figure 6. Flexural Strength Results of Water Cured Samples

The flexural tensile strengths of the second group samples, MC1-A, MC2-A, MC3-A and MC4-A mixture samples at 28 days of age, were obtained as 4.303, 4.321, 3.845 and 6.783 MPa, respectively (Figure 7). The flexural tensile strength results of MC1-A, MC2-A, MC3-A and MC4-A blends obtained over 28 days were 7%, 20%, 59% and 7% higher, respectively, than the 7-day samples. The flexural tensile strength obtained because of water curing at 28 days of age was calculated as 6%, 14%, 11% and 8% higher, respectively, than the flexural tensile strength of the samples stored in the laboratory. A difference of 18%, 9%, 49% and 2% was observed between the samples cured with water for 56 days and the samples kept under laboratory conditions. The flexural tensile strength obtained from water-cured samples is higher.

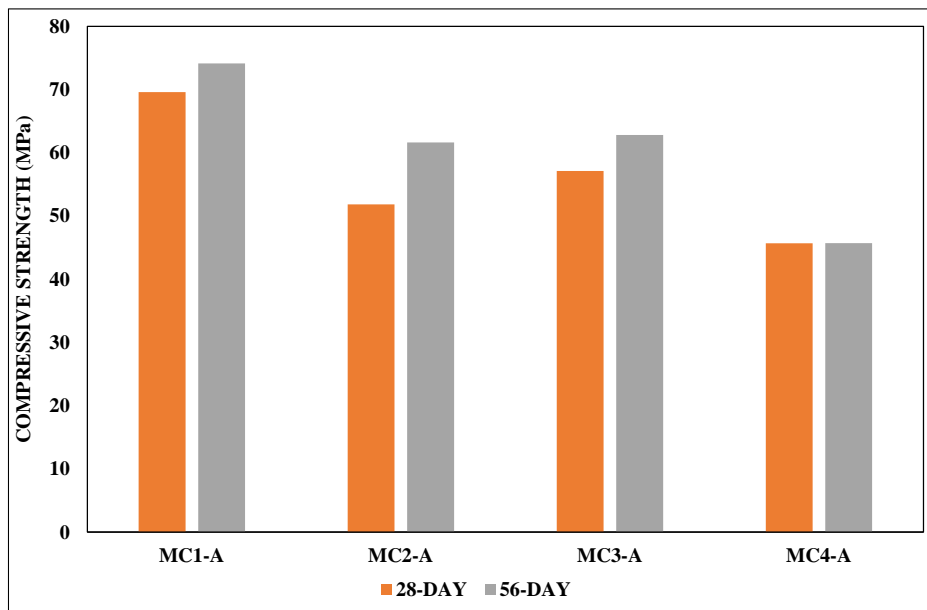


Figure 7. Flexural Strength Results of Air Cured Samples

3.2. Compressive Strength Test Results

Compressive strengths were determined by taking the average of these 6 samples compressive strength test results. Results for the 7-day-old MC1-W, MC2-W, MC3-W and MC4-W samples were 40.8, 30.4, 37.9 and 28.29 MPa, respectively (Figure 8). This mixture given in other samples was evaluated respectively. It was calculated that the samples cured with water for 28 days were 79%, 90%, 69% and 65% higher, respectively, compared to the 7-day age. It was calculated that samples cured with water for 56 days were 85%, 126%, 81% and 73% higher, respectively, compared to 7 days (Figure 8).

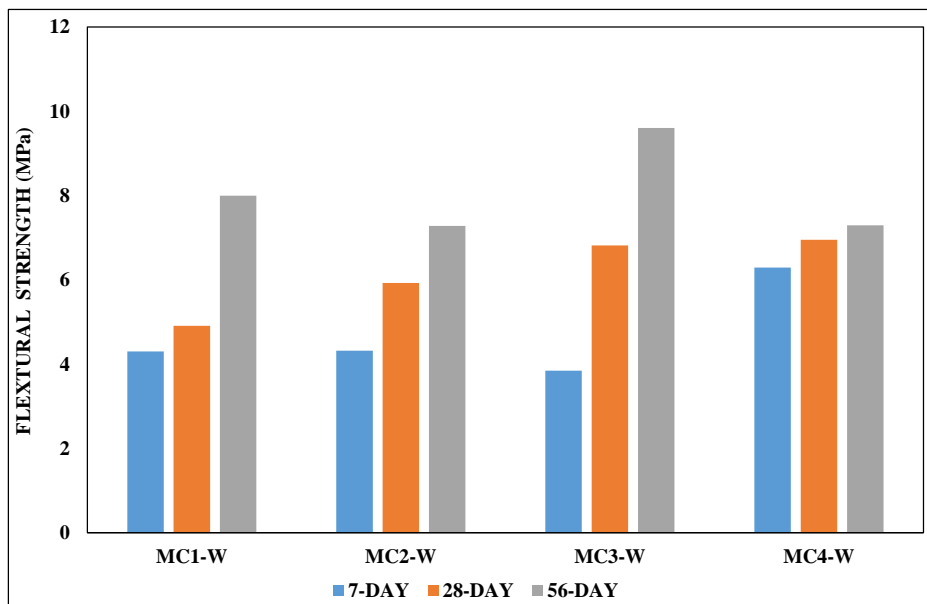


Figure 8. Compressive Strength Results of Water Cured Samples

Results for the 28-day MC1-A, MC2-A, MC3-A, and MC4-A samples were 70%, 70%, 51%, and 61% higher, respectively, than the 7-day test samples (Figure 9). The 28-day water-cured samples were 5%, 11%, 12%, and 2% higher than the non-water-cured samples. At 56 days of age, water-cured samples were 2%, 11%, 9%, and 7% higher than non-water-cured samples (Figure 9).

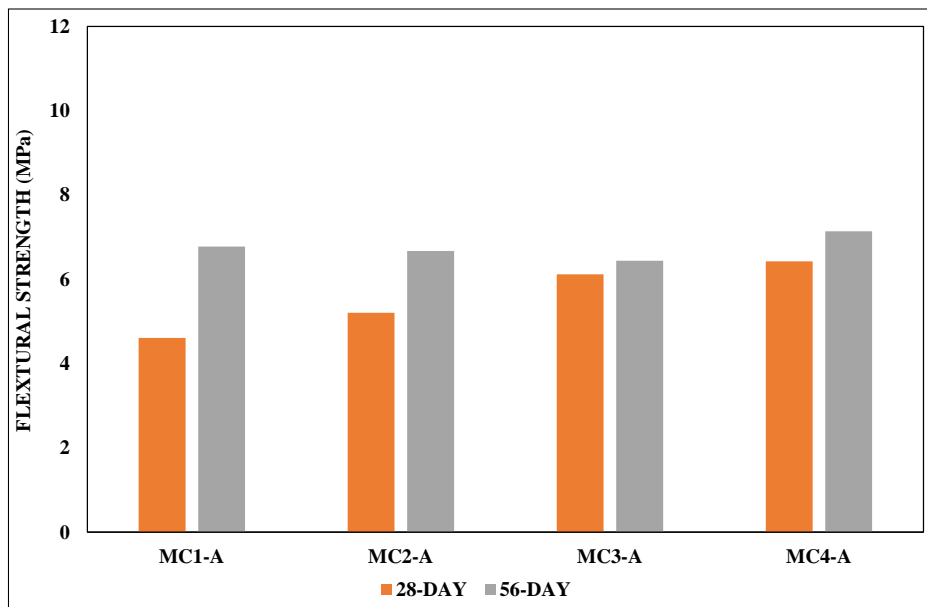


Figure 9. Compressive Strength Results of Air Cured Samples

3.3. Physical Properties

Within the scope of the study, necessary measurements were made for the porosity and bulk density of the samples removed from the curing tank at the end of the 28-day curing period. Measurements were made on all prismatic samples removed from the curing tank. Obtained porosity results were calculated as 26.53%, 28.25%, 29.43% and 29.05% for MC1, MC2, MC3 and MC4, respectively (Figure 10).

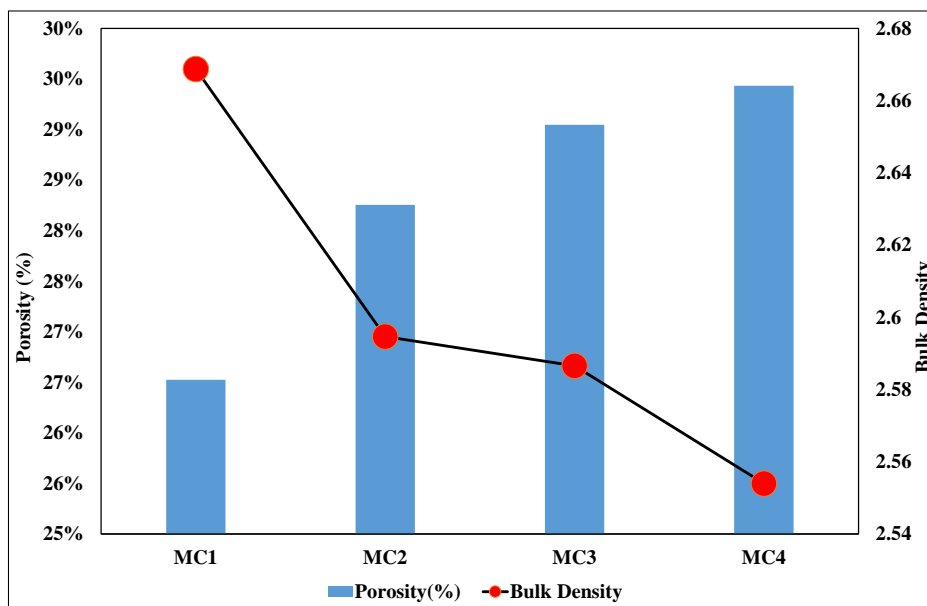


Figure 10. Porosity and Bulk Density Results

For the lowest porosity values, the compressive strength of the MC1-W mixture reaches the highest value of 73 MPa in 28-day age tests. The highest porosity value was achieved in the MC4-W mixture, with a flexural tensile strength of 6.9 MPa. The bulk density value varies between 2.55 and 2.67. For 28 days of age, the lowest bulk density value was 2.55 and the lowest compressive strength was obtained in 46.69 MPa MC4-W mixture. The highest bulk density value at 2.67 was obtained from the MC4-W mix with the highest flexural strength of 6.9 MPa for 28-days age (Figure 10).

4. CONCLUSIONS

Within the scope of the study, it was evaluated how the micro-concrete mixtures with SF, FA and NS contents changed in terms of their mechanical properties at the end of different water curing periods. The results obtained are summarized below.

- Only micro-concrete mixtures with SF content show the best compressive strength.
- When SF and FA are used together, significant reductions in micro-concrete compressive strength can occur for 28-days age.
- When NS is added in addition to SF and FA, there is a significant increase in the compressive strength caused by FA.
- In flexural tensile denier, it is seen that FA content produces better results in contrast to SF and NS.
- While SF reaches the lowest porosity value, the substitution of FA and the use of FA only increases the porosity.
- As a result of the prolongation of the water curing period, remarkable strength gains stand out for the 28-day age, especially in the mixtures containing SF-FA and SF-FA-NS.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

REFERENCES

- Al-Amoudi, O. S. B., Maslehuddin, M., & Abiola, T. O. (2004). Effect of type and dosage of silica fume on plastic shrinkage in concrete exposed to hot weather. *Construction and Building Materials*, 18(10), 737–743. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.031>
- Aldridge, W. W., & Breen, J. E. (1970). Useful techniques in direct modeling of reinforced concrete structures. *American Concrete Institute, ACI Special Publication*, SP-024, 125–140, USA.
- ASTM. (2009). Standard practice for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. *ASTM International*, 04, 3.
- ASTM C348-19. (2018). Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. *Annual Book of ASTM Standards*, 03(Reapproved), 98–100.
- ASTM C349-08. (2014). Standard test method for compressive strength of hydraulic-cement mortars (using portions of prisms broken in flexure). *Annual Book of ASTM Standards*, 1–4.

- ASTM C642-13. (2014). Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Biricik, H., & Sarier, N. (2014). Comparative study of the characteristics of nano silica-, silica fume- and fly ash-incorporated cement mortars. *Materials Research*, 17(3), 570–582. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392014005000054>
- Dhir, R., & Roderick Jones. (1996). Concrete repair, rehabilitation and protection. *Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK*
- Fahmy, M., Abu El-Hassan, M., Kamh, G., & Bashandy, A. (2020). Investigation of Using nano-silica, silica fume and fly ash in high strength concrete. *ERJ. Engineering Research Journal*, 43(3), 211–221. <https://doi.org/10.21608/erjm.2020.95144>
- Felekoğlu, B. (2009). *High performance micro concrete design*. [PhD. thesis] Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.
- Gaitero, J. J., Campillo, I., Mondal, P., & Shah, S. P. (2010). Small changes can make a great difference. *Transportation Research Record*, 2141, 1–5. <https://doi.org/10.3141/2141-01>
- Garboczi, E. J. (2009). Concrete nanoscience and nanotechnology: Definitions and applications. *Nanotechnology in Construction* 3, 81–88. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00980-8_9
- Hou, P. K., Kawashima, S., Wang, K. J., Corr, D. J., Qian, J. S., & Shah, S. P. (2013). Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar. *Cement and Concrete Composites*, 35(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.027>
- Jalal, M., Pouladkhan, A., Harandi, O. F., & Jafari, D. (2015). Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.001>
- Jo, B. W., Kim, C. H., Tae, G. ho, & Park, J. Bin. (2007). Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1351–1355. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020>
- Jumaat, M., Kabir, M., & Obaydullah, M. (2006). A review of the repair of reinforced concrete beams. *Journal of Applied Science Research*, 2(6), 317–326. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lee, J., Mahendra, S., & Alvarez, P. J. J. (2010). Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations. *ACS Nano*, 4(7), 3580–3590. <https://doi.org/10.1021/nn100866w>
- Li, H., Xiao, H. Gang, & Ou, J. Ping. (2004). A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials. *Cement and Concrete Research*, 34(3), 435–438. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.08.025>
- Litle, W. A., & Paparoni, M. (1966). Size Effect in Small-Scale Models of Reinforced Concrete Beams. *ACI Journal Proceedings*, 63(11). <https://doi.org/10.14359/7666>

- Mazloom, M., Ramezani-pour, A. A., & Brooks, J. J. (2004). Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4), 347–357. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00017-9)
- Mukhopadhyay, A. K. (2011). Next-generation nano-based concrete construction products: A review. In *Nanotechnology in Civil Infrastructure* (pp. 207–223). Springer Berlin Heidelberg. Berlin.
- Nounu, G., & Chaudhary, Z. U. H. (1999). Reinforced concrete repairs in beams. *Construction and Building Materials*, 13(4), 195–212. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(99\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(99)00014-8)
- Pacheco-Torgal, F., Miraldo, S., Ding, Y., & Labrincha, J. A. (2013). Targeting HPC with the help of nanoparticles: An overview. *Construction and Building Materials*, 38, 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.013>
- Palomo, A., Shi, C., & Jiménez, A. F. (2011). New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 750–763. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884611000925>
- Said, A. M., Zeidan, M. S., Bassuoni, M. T., & Tian, Y. (2012). Properties of concrete incorporating nano-silica. *Construction and Building Materials*, 36, 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.044>
- Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete - A review. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2060–2071. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014>
- Torres, M. L., & García-Ruiz, P. A. (2009). Lightweight pozzolanic materials used in mortars: Evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption. *Cement and Concrete Composites*, 31(2), 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.11.003>
- Zhang, M. H., & Islam, J. (2012). Use of nano-silica to reduce setting time and increase early strength of concretes with high volumes of fly ash or slag. *Construction and Building Materials*, 29, 573–580. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.013>



Araştırma Makalesi / Research Article

DEMİRYOLU ARAÇLARININ BAKIM MASRAFLARININ RAMS ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ*

EVALUATION OF MAINTENANCE COSTS OF RAILWAY VEHICLES BY RAMS ANALYSIS

Hamit Murat GEYİK¹

Yalçın EYİĞÜN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1150121>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
hmurat.geyik@metro.istanbul

Geliş Tarihi / Received
28.07.2022

Kabul Tarihi / Accepted
09.09.2022

Öz

Bu çalışmada bakım kavramının anlamı detaylıca anlatılmış ve raylı sistem araçlarında yapılan bakım çeşitleri örneklenerek gösterilmiştir. RAMS kavramı ile ilgili literatür incelenmiştir. RAMS hesaplama yöntemleri, detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Özellikle risk kavramı üzerinde durulmuş ve risk değerlendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Metro İstanbul A.Ş. bünyesinde bulunan farklı araç üreticileri ve farklı araç modelleri için farklı yıllardaki bakım maliyetleri ve RAMS hesaplamaları karşılaştırılarak bu iki kavram arasındaki ilişki yorumlanmıştır. 2019 yılına ait veriler ağırlıklı olmak üzere 2020 ve 2021 yıllarına ait güncel veriler kullanılmasına özen gösterilmiştir. Araçların periyodik bakım ve düzeltici bakımlarında sarf edilen ve malzeme maliyetleri ele alınarak RAMS verileri ile anlamlı sonuçlar aranmıştır. Ayrıca farklı üreticilere, yaşlara, ekipman ve teknolojilere sahip araçlarda da maliyet ile performans açısından anlamlı sonuçlar aranmıştır. Alınan veriler araç tipleri ve araçların çalışma koşulları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. T5 Eminönü – Alibeyköy tramvay hattı ve depo sahası'nın inşaat, elektromekanik ve araç alım işi ihalesinin teknik şartnamesinde bulunan ilgili bölümlerden örnekler verilerek demiryolu araç alımı etüt projelerinde RAMS ile bakım maliyetlerini kapsayan çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakım, bakım maliyeti, metro, RAMS, tramvay.

Abstract

In this study, the meaning of maintenance is explained thoroughly and the types of maintenance performed on rail system vehicles are shown with examples. The literature on the concept of RAMS has been reviewed. RAMS calculation methods are explained in detail. Principally, the concept of risk is emphasized and risk assessment methods are mentioned. The relationship between these two concepts is interpreted by comparing the maintenance costs and RAMS calculations in different years for different vehicle manufacturers and vehicle models in Metro İstanbul. Care has been taken to use up-to-date data for the years 2020 and 2021, with predominance data for 2019. Significant results were sought with RAMS data by considering the material costs and expenditures in the periodic maintenance and corrective maintenance. Ancillary, significant results were sought respecting cost and performance for vehicles of different manufacturers, ages, equipment and technologies. The obtained data were compared considering the vehicle types and the working conditions. It is aimed to shed light on studies covering maintenance costs with RAMS in railway vehicle purchase survey projects by giving examples from the relevant sections in the technical specifications of the T5 Eminönü-Alibeyköy tram line and warehouse area construction, electromechanical and vehicle procurement work tender.

Keywords: Maintenance, maintenance cost, RAMS, subway, tram.

*Bu yayın Hamit Murat GEYİK isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. hmurat.geyik@metro.istanbul, Orcid.org/0000-0002-3796-938X.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye. yeyigun@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-9931-8294.

1. GİRİŞ

Toplumsal yaşamın ve ticaretin gelişmesiyle ulaşım ve taşımacılık faaliyetleri oluşmuştur. Sanayileşme sonucunda imalatın artması taşımacılık ihtiyacını arttırarak ulaşım sektörünü en önemli sektörlerden biri haline getirmiştir. Ulaşım da bölgelerin coğrafi, beşeri, fiziki ve ekonomik özelliklerine göre farklı dallara Türkiye için de ulaşım sistemleri ayrı bir önem arz etmektedir. Türkiye ulaşım sistemlerini ağırlıklı olarak karayolu ulaşımı oluşturmaktadır. Demiryolu sanayisinin gelişimiyle yüksek hız ve konfora sahip araç üretilebildiğinden son yıllarda Türkiye’de doğu Asya ve Avrupa’nın tercihi olan demiryolu ulaşımına yönelik yatırımlar yapılmaktadır. Demiryollarında ve diğer sektörlerde yatırımların amortisman sürelerini etkileyen parametrelerden biri de hiç kuşkusuz bakımlardır. Önleyici ve düzeltici bakımların kalitesi yatırım maliyetlerini etkilediği gibi güvenlik, güvenilirlik ve konfor açısından da oldukça önemli bir etkidir. Demiryolu araçları, farklı fonksiyonları yerine getiren birbirinden bağımsız ya da bir birleriyle koordineli olarak çalışan alt sistemlerden oluşur. Demiryolu taşıtlarının cari hatta hizmet vermeden önce sahip olması gereken emniyet kriterleri uluslararası standartlarla belirlenmiştir. CENELEC ve IEC adlı kuruluşların belirlemiş olduğu bu standartlar ülkemizde de kabul edilmiştir. CENELEC (Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi)’in yayımlamış olduğu EN 50126 demiryolu uygulamalarında güvenilirlik, emre amadelik, sürdürülebilirlik ve güvenlik kriterlerini, EN 50128 demiryolu uygulamalarında haberleşme, sinyalizasyon ve işleme sistemlerinde demiryolu kontrol ve koruma sistemleri için yazılım ve EN 50129 demiryolu uygulamalarında İletişim, sinyalizasyon ve işleme sistemlerinin sinyalizasyon için güvenlikle ilgili elektronik sistemler numaralı standartları raylı sistemlerdeki emniyet proseslerinin ana iskeletini oluşturur. EN 50126, Avrupa Birliği Demiryolu İdareleri’nin RAMS kısaltması ile gösterilen Reliability (güvenirlilik), Availability (emre amadelik), Maintainability (sürdürülebilirlik) ve Safety (güvenlik) yönetiminin uluslararası standart olarak uygulanmasını mümkün kılan bir işlem sağlar. Bu standardın ana konuları RAMS şartlarının belirtilmesine ait işlemleri açıklar.

Bu çalışmada Metro İstanbul A.Ş.’nin işletmesini yaptığı hatlardaki tramvay, hafif metro ve metro araçlarına ait RAMS-reliability, availability, maintainability, safety- verileri ile bakım maliyetleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Ek olarak Metro İstanbul bünyesinde bulunan Alstom, CAF, Rotem, Bombardier, Durmazlar gibi farklı araç üreticilerinin metro, hafif metro ve tramvay araçlarının RAMS verileri tablolanarak araç tipinin RAMS’ a etkisi, araç yaşının RAMS’ a etkisi, araç teknolojisinin RAMS’ a etkisi gibi karşılaştırmalar yapılmıştır.

1.1. Sistemler ve RAMS Kavramı

Sistem, istenen sonuçları oluşturabilmek için birden fazla parçanın bir araya getirilip entegre bir şekilde çalıştırılarak oluşturulan mekanizmalardır (Kapurch, 2010). Sistem olgusu son yıllarda yönetim alanında sistem mühendisliğinin bir prensibi olarak kullanılmaktadır. Uçak ve raylı sistemler gibi birçok sistem, alt sistem ve bileşen içeren karmaşık makinalarda sistem kavramı kullanılmaktadır.

RAMS İngilizcede reliability, availability, maintainability ve safety kelimelerinin baş harfleri ile oluşturulmuş bir terimdir. RAMS yönetimi sistemin özelliklerine ve fonksiyonlarına bağlı olarak yaşam döngüsü ve içindeki görevlere dayanan sistem gereksinimleri belirleyen ve bu gereksinimleri karşılamadaki performanslarını ortaya koyan bir süreçtir. RAMS yönetimi sistem ile ilgili; “ne kadar sıklıkla arızalanıyor?”, “Sistem ne kadar süre çalışabilir durumda?”, “Ne kadar sürede bakım yapılabilir?”, “Sistemin fonksiyonelliğinde meydana gelen bir aksaklık durumunda oluşabilecek riskler nelerdir?” Sorularına cevap arar. Bu sorulara bulunduğu cevapları derleyerek sistem hakkında çeşitli öngörülerde bulunur. Yapılan öngörülere dayanarak sistemin çeşitli açılardan performans kritiğini yapar. Sistemde yapılacak revizyonlar, bakım maliyetini

azaltacak çalışmalar ve risk azaltıcı iyileştirme çalışmaları bu bilgiler ışığında planlanabilir (Stapelberg, 2009).

1.1.1. Güvenilirlik

Bir sistemin belirli bir zaman aralığında ve belirli koşullar altında fonksiyonlarını yerine getirebilme yeteneğidir. Güvenilirlik değerleri düzeltici bakımın değerlendirilmesi için temel oluştururken kritik güvenilirlik rakamları, sistemin ya da ekipmanın, takılı oldukları aracın servisini nasıl etkilediğini gösterir. Metro İstanbul’ da güvenilirlik hesabı iki arıza arasındaki ortalama mesafe MDBF (Mean Distance Between Failures) ile ifade edilir. Araçlarda meydana gelen arızalar aracın servis durumuna etkisine göre servise mani arıza ya da servise mani olmayan arıza olarak sınıflandırılır. Eğer arıza etkisiyle araç servise devam edemiyorsa servise mani arıza sınıfına girer. Arızanın sistemin devamlılığına olan etkisini inceleyebilmek için MDBSF (Mean Distance Between Service Failures, servise mani iki arıza arasındaki ortalama mesafe) değeri de hesaplanır. Belli bir dönemdeki MDBF değeri; araçların kat ettiği toplam kilometrenin toplam arıza sayısına bölünmesiyle bulunur. MDBSF değeri ise araçların kat ettiği toplam kilometrenin servise mani arıza sayısına bölünmesiyle bulunur. MDBF ve MDBSF değerlerinin birimi kilometredir. MDBF ve MDBSF değerleri ortalama işletme hızına bölünürse saat cinsinden MTBF (Mean Time Between Failures) ve MTBSF (Mean Time Between Service Failures) elde edilir.

1.1.2. Emre amadelik

Emre amadelik, bir aracın, sistemin ya da ekipmanın istenilen fonksiyonunun, istendiği zaman gerçekleştirilip gerçekleştirilememesinin bir ölçütüdür. Emre amadelik performansı, doğrudan güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik performanslarından etkilenir. Dolayısıyla güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik oranı yükseldikçe emre amadelik oranının yükselmesi beklenir. Raylı sistem araçlarının emre amadelik oranı gerçekleşen sefer sayısının planlanan sefer sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Bu hesaplamada yalnızca tren arızalarından dolayı yaşanan sefer iptalleri ve tehirlere hesaba katılır. Araç, RAMS hesabı kapsamına girmeyen sebepler yüzünden servis dışı kalmış ise Emre Amadelik (Availability) hesabına katılmaz. Yani emre amadelik oranının hesaplanması, doğrudan araç sistemi veya bileşenlerin arızalanmasından kaynaklanmayan vandalizm, operatör hatası, kaza nedeniyle sistemin kullanılmamasını kapsamaz. . Örneğin; 30 araçlık filo yolculuğu işletmede ikili diziler halinde çalıştırıldığı durumda bir dizi kaza, arıza, bakım yedeği olarak ayrılmaktadır. Geriye kalan 14 dizinin emre amadeligi (Availability) pik saatlerde Metro İstanbul için minimum %99,6 olmalıdır (Anonim, 2016).

1.1.3 Bakım Yapılabilirlik

Sistemin bakım yapılabilirliği, belirli bir bakım periyodunda ve belirli bakım koşullarında sistemi çalışma şartlarına uygun seviyeye getirilebilme yeteneğidir. Amaç, maliyetleri ve gecikmeleri azaltmak ve sistemin kullanılabilirliğini artırmaktır. Bakım yapılabilirlik, kolaylıkla temin edilebilen materyallerin uygulanması, bileşen alışverişinin kolaylığı, filodaki araçların standart olması (özel aksine), açık ve kapsamlı el kitaplarının, çizimlerinin, bakım prosedürlerinin ve bakım talimatlarının kullanımı dâhilinde gerçekleştirilir. Her sistemin, bakımı, işletmesi, temizlenmesi ve tamir edilebilirliği kolay olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu durum iç giydirmeye ve vandalizme yatkın diğer öğelerin tasarımını da kapsar. Tüm temel ekipmanların ve aşınan parçaları kolay ve erişilebilir olmalıdır. Bu ekipmanların ve aşınan parçaların kolay değiştirilebilirliği, sistemin duruş zamanını azaltarak emre amadeligi artırır. Araç tasarımlarının ve bakım politikalarının LRU (Line Replacement Unit)’lara dayalı yapılması emre amadelik oranını ve bakım yapılabilirlik oranını yükseltir.

Raylı sistemler için bakım yapılabilirlik ortalama onarım süresi olarak değerlendirilir ve toplam harcanan fiili işin arıza sayısına bölünmesiyle hesaplanır.

1.1.4. Güvenlik

Emniyetin amacı, sistem elemanının, yolcuların ve kişilerin fiziksel bütünlüğünü muhafaza etme kapasitesi şeklinde ifade edilmektedir. Raylı sistem araçlarının emniyeti, felaket ve kritik olayların ortaya çıkma riskini kabul edilebilir bir seviyeye düşürmektir. Araçlar tasarım aşamasında iken risk değerlendirmelerine tabi tutulur. Risk değerlendirmesi, tehlikeleri tespit etmek, zararlı faktörleri analiz etmek ve olası sonuçları belirlemek, bir sistemin riskini tahmin etmek ve makul güvenlik önlemleri önermek için kullanılan bir uygulamadır (Zhou, 2020). Bu risk değerlendirmelerinde riskler EN 50126 standardına göre şiddetlerine ve sıklıklarına sınıflandırılarak risk matrisleri oluşturulur. Oluşturulan risk matrislerinde kabul edilemeyen riskler, istenmeyen riskler, tolere edilebilir riskler ve önemsiz riskler belirlenir. Kabul edilemeyen riskler kesinlikle ortadan kaldırılır. İstenmeyen riskler araç üreticisi tarafından düşük bütçeli revizyonlarla giderilir. Tolere edilebilir ve önemsiz riskler için idare ve araç üreticisi uzlaşmaya varırlar.

Araçlar yolculu işletmeye alınmadan önce güvenlik açısından eksiklikleri giderilir ve işletme yapmasına engel bir durumun olmadığı belgelenir.

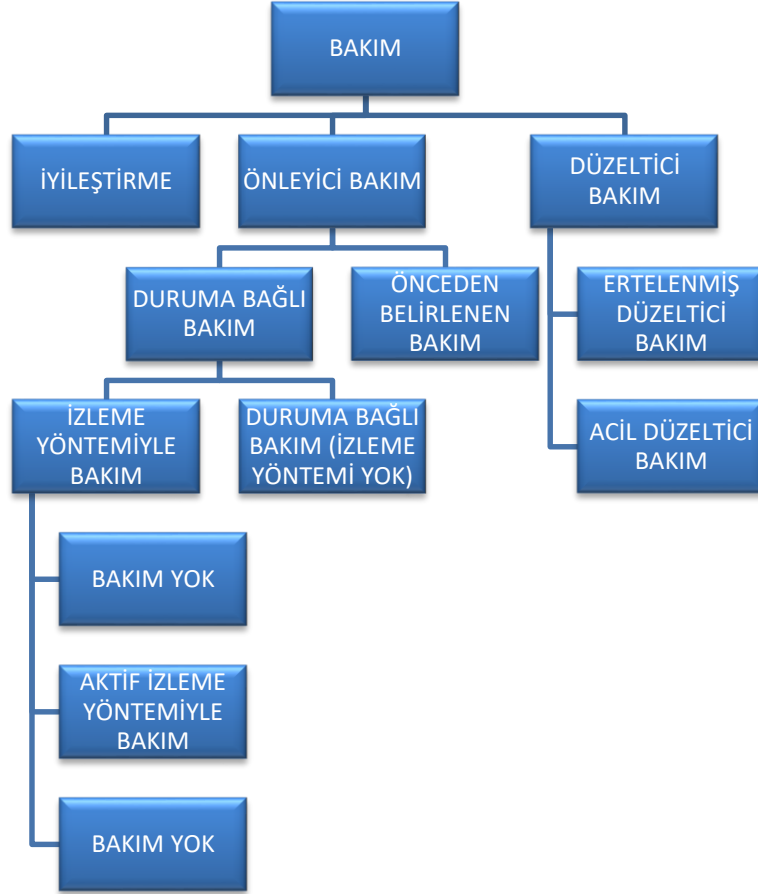
1.2. Bakım ve Bakım Çeşitleri

Bir sistemin, talep edilen fonksiyonel yükümlülüklerini korumak, fonksiyonel durumunu eski konumuna getirmek veya muhafaza etmek amacıyla idari, yönetsel ve teknik tedbirlerin bir araya gelmesiyle oluşan çabaların tamamına bakım denir (Anonim, DIN 31051 , 2012).

İşletmelerdeki sistemlerin çalışır ve kullanıma hazır durumda olması için harcanan çabalar maliyet doğurur. Bakım ilk bakışta başlı başına bir maliyet olarak görülebilir. Sistemlerin bakımı için personel, teknolojik cihazlar, kullanılan sarf malzemeler önemli maliyet kalemleridir. Bakımı yapılmayan sistemlerin üretimin devamını engelleyecek arızalar vermesi, arızalanan sistemlerin devreye alınması için harcanacak çabalar yapılan bakım maliyetlerinden çok daha fazla maliyet doğurabilir.

Raylı sistem araçlarında bakım eksikliğinden kaynaklı meydana gelebilecek arızalarda araçların yolda kalması, güzergâhı kapatması binlerce yolcunun mağduriyetine ve kent için önemli maliyetlere neden olabilir. Yaşanabilecek olumsuzlukları bertaraf etmek için uygun bakım planlarını belirlemek ve bakım periyotlarına uymak oldukça önemlidir. Raylı sistemlerde kullanılan sistemlerin bakım periyotlarının ve uygulanacak bakımların belirlenmesi için birçok kriter mevcuttur. Sistemlerin bakımları belirlenirken ilk etapta sistemleri üreten üreticilerin önerileri ön planda tutulur. Araç üreticileri ürettikleri trenlerin bakımlarının hangi tip olması gerektiğini, hangi aralıklarla yapılması gerektiğini belirtir. Sistem üreticileri genellikle ilgili sistemlerin bakımlarını kilometreye bağlı ya da zamana bağlı olarak belirler. Trenler birçok sistemin bir araya gelmesiyle oluşur. Üretici firmalar araçlarda yapılması gereken bakımları bir arada aynı anda yapmak dışında bazı sistemler için ayrıca farklı kilometre ya da farklı zaman periyodu belirlemektedirler. Bu belirlemeler ilgili sistemlerin çalışmasının kritik olup olmamasına bağlanabilir. Üreticilerin dışında sistemlerin bakımları, sistemin işletmesini yapan işletmeciler tarafından da belirlenebilir. Sistemi kullanan işletmeciler, sistemlerin çalıştığı çevre koşullarına göre bakım sürelerini ve bakım kilometrelerini belirler ya da revize edebilirler. Sistemin çalıştığı çevre şartları bakım süreçlerini belirlemede önemli yer edinir. İşletmedeki tecrübeler ve gelişen teknoloji ile beraber bakım sürelerinde ve bakım yöntemlerinde değişiklikler ve yeni stratejiler oluşturulmaktadır.

Bakımlar ile ilgili kapsamlı terminolojik bilgiler EN 13306 Bakım-Terimler ve Tarifler Standardında yer almaktadır. Bu Avrupa Standardı, 9 Temmuz 2010 tarihinde CEN (European Committee for Standardization) Avrupa Standartlaştırma Komisyonu tarafından onaylanmıştır. CEN Avrupa da geçerli olan ve Avrupa’ da birçok ülkeyi kapsayan standartları inceleyen ve onaylayan bir kuruluştur. 2017 Yılında EN 13306 standardında güncelleme yapılmış olup ana bakım sınıfları belirlenmiştir. Ana bakım sınıfları 3 (üç) ana başlıkta toplanmıştır.



Şekil 1. EN 13306' ya Göre Bakıma Genel Bakış: Bakım Tipleri (Anonim, EN 13306, 2017)

1.2.1. Düzeltici bakım

Sistemde veya ekipmanda meydana gelen arızayı gidermek için yapılan bakımdır. Arıza yapan, fonksiyonlarını yerine getiremeyen sistemlerde ilgili sistemin tekrar çalışır ve fonksiyonunu yerine getirmesi için düzeltici bakım yapılır. Düzeltici bakım da bakım periyodu yada bakım zamanı söz konusu değildir. Arızanın oluştuğu zaman düzeltici bakım aktivitesine ihtiyaç duyulur. Sistemde meydana gelen arızanın düzeltici bakımının yapılması için öncelikle ilgili sistemin yedek parçalarının hazır bulunması önemlidir. Ayrıca arızaya müdahale için mümkün olduğunca fiziki şartların elverişli olması gerekmektedir. Düzeltici bakımlar da öncelik arızanın tespit edilmesidir. Arızayı tespit etmede sistemin kullanıcıları önemli yer tutar.

1.2.2. Önleyici bakım

Parçanın arıza olasılığını ya da işleyişinin bozulmasının önlenmesi amaçlanan ve önceden belirlenen aralıklarla ya da önceden tanımlanan ölçüte uygun olarak yapılan bakımdır (Anonim, EN 13306, 2017). Bir sistemde arıza oluşmadan önce, meydana gelebilecek arızayı önlemek adına yapılan bakımdır. Sistem bakımları ve bu sistemlerin bakımında kullanılan ekipmanlarda belirli

periyotlarda, önceden belirlenen aralıklarla yapılmaktadır. Sistemlerin ve ekipmanların Önleyici Bakımlarını tanımlayan, içeriğini oluşturan ve belirleyen öncelikli olarak sistem üreticileridir.

1.2.3. İyileştirme

İyileştirme son yıllarda bakım metodu olarak yerini almıştır. Sistemlerin işleyişi esnasında tespit edilen aksaklıklar olumsuzluklar üzerinde yapılan revizyonlar/iyileştirmeler temel bakım maddelerinden biridir. Sistemin doğal karakterinde değişiklik meydana gelmişse ve bu değişiklik sıklıkla sistemin çalışmasına engel oluyorsa ya da sistemin verimli çalışmasına engel oluyorsa sistemdeki bu kusuru gidermek için yapılan revizyonlar/iyileştirmeler bakım içerisinde yer almaktadır. Burada sistemin işlevi değiştirilmemektedir. İşlevin değiştirilmesi durumunda farklı bir sistem ortaya çıkarılır ki bu durumu iyileştirme olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım değildir. Sistemler çalışma esnasında arıza veriyorsa, verimliliği etkiliyorsa, güvenlik riskleri doğuruyorsa, sistemin sürekliliğinin sağlanmasına engel oluyorsa ilgili sistemlerde iyileştirme yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus sistemde revizyon/iyileştirme gerektiren ekipman revizyon maliyetinden daha ucuzsa ekipmanı değiştirmek daha makul bir çözüm olabilir.

Raylı sistemlerde temel bakım türleri olan düzeltici bakım, önleyici bakım ve iyileştirme çalışmaları dışında mevsimsel bakım, dış kaynak kullanılarak yapılan bakım, izleme yöntemiyle bakım, fırsat bakımı, modernizasyon ve operatör bakımı gibi farklı bakım türlerinden de yararlanılmaktadır. (Kadioğlu, 2020).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İştirak Şirketi, Metro İstanbul A.Ş. tarafından işletilen T1 Kabataş Bağcılar, T4 Topkapı Habibler, T5 Eminönü Alibeyköy, M1 Yenikapı Atatürk Havalimanı Kirazlı, M2 Yenikapı Hacıosman, M3 Kirazlı Başakşehir Metrokent, M4 Kadıköy Tavşantepe, M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarında çalışan Alstom, Bombardier, Siemens, Rotem, İstanbul tramvay aracı, ABB, CAF marka raylı sistem araçlarının bakım maliyetleri ve arıza verileri ve bakım maliyetleri incelenmiştir. RAMS güvenilirlik hesabında kullanılan arıza sayısı ve kilometre değerleri şirketin kullanmakta olduğu ERP sisteminden alınmıştır. Yine bakım maliyetlerine ilişkin veriler ERP sisteminde bulunan maliyetlerdir.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada T1, T4, T5, M1, M2, M3, M4 ve M5 hatlarında yolculu işletmede kullanılan T1 Alstom, T1 Bombardier, T4 İstanbul, T4 Köln tramvay araçlarına, M1 ABB ve T4 Rotem hafif metro araçlarına ve M2 Rotem 1, M2 Rotem 2, M2 Alstom 1, M3 Alstom 2, M4 CAF 1 ve M5 CAF 2 metro araçlarına ait EN 50126 standardına göre hesaplanan RAMS değerleri ve EN 13306 bakımları yapılan araçların bakım maliyetleri bir araya getirelerek anlamlı ilişkiler aranmıştır.

3. UYGULAMA

Uygulama bölümünde farklı hatlarda işletme yapmakta olan farklı araç markalarına göre ayrı ayrı hesaplama yapıldığından hat-arac eşleştirmesi yapılmıştır.

Tablo 1. Hat-Araç Eşleştirmeleri

HAT	GÜZERGAH	KISA AD	ARAÇ
T1	Kabataş-Bağcılar	ATA1	Alstom tramvay aracı
		BTA1	Bombardier tramvay aracı
T4	Topkapı-Habibler	İTA1	İstanbul tramvay aracı
		RHM1	Rotem hafif metro aracı
		KTA1	Köln tramvay aracı
M1	Yenikapı-Atatürk Hava Limanı-Kirazlı	ABB1	ABB hafif metro aracı
M2	Yenikapı-Hacıosman	AMT1	Alstom metro treni 1
		RMT1	Rotem metro treni 1
		RMT2	Rotem metro treni 2
M3	Kirazlı-Başakşehir	AMT2	Alstom metro treni 2
M4	Kadıköy-Tavşantepe	CMT1	CAF metro treni 1
M5	Üsküdar-Çekmeköy	CMT2	CAF metro treni 2

Metro hatları; kendilerine ait yolları bulunan ve diğer sistemler ile hiçbir şekilde kesişmeyen yüksek yolcu kapasitesine sahip 2-10 vagon arasında değişen araç tipleridir. İşletme hızı tramvay ve hafif metrolara göre genellikle daha yüksektir.

Tramvay araçları genellikle 1-4 arası vagon sayısı ile işletme yapan yolcu kapasitesi ve ortalama işletme hızı metro araçlarına göre daha düşük olan araçlardır. Tramvayların kendilerine ait yollarının olmasına rağmen hat boyu hemzemin geçitler ve kavşaklar bulunabilir.

Hafif metrolar ise genelde şehir dışında bulunan tren duraklarındaki yolcuları şehir merkezine taşıma amacıyla inşa edilen tramvayların modernleşmiş halidir. Yolcu kapasitesi tramvay araçlarından daha fazla metro araçlarından ise daha azdır (Toparlı, 2021).

3.1. Tramvay ve Hafif Metro Araçlarında Bakım Maliyeti ve RAMS İlişkisi

Demiryolu araçlarında bakım maliyetleri; araçların teknolojileri, yaşları, önleyici bakım periyotları, düzeltici bakım sayıları, araçların ortalama kat ettiği kilometreler, araçların günlük ortalama çalışma saatleri gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca aracın bakım yapılabilirliği de işçilik maliyetlerini önemli derecede etkilemektedir.

Bu kısımda tramvay ve hafif metro araçlarında yolculu işletme yapan farklı, marka, yaş ve teknolojilere sahip araçların bakım maliyetleri ile RAMS analizleri arasındaki ilişki etraflıca değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

3.1.1. T1 hattı Alstom tramvay aracı incelemesi

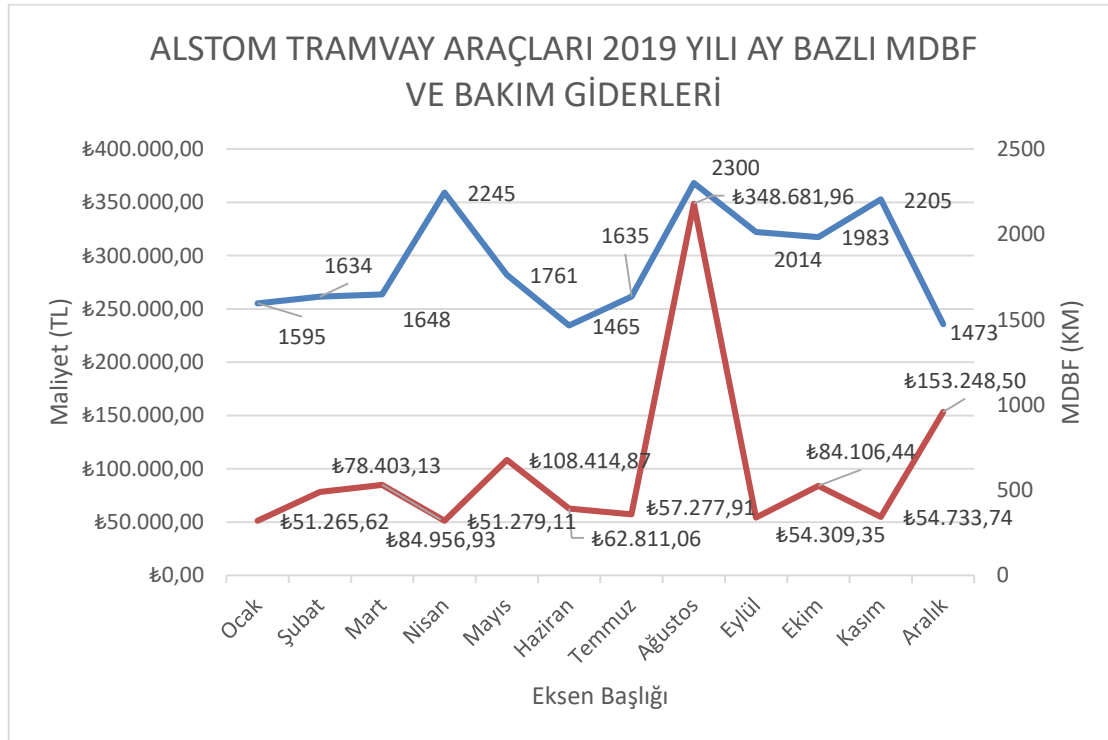
Alstom marka tramvay araçları 2009 yılında T1 Kabataş-Bağcılar hattında 2009 yılından bu yana hizmet vermektedir. Toplam 37 araçtan oluşan Alstom tramvay filosu ikili diziler halinde işletme yapmaktadır. Alstom araçlarına ait 2019 yılı MDBF değerleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Araç performans hesaplamalarında MDBF değeri 37 aracın toplam arıza sayısının yine 37 aracın

toplam kat ettiği kilometreye bölünmesi ile bulunmuştur. Birimi kilometredir. Buradan yola çıkarak MTBF değeri; MDBF değerinin hattaki ortalama hıza bölünmesi ile elde edilmiştir. T1 hattında yaklaşık 16 km/h ortalama hız ile işletme yapılmaktadır.

Tablo 2. 2019 Yılı Alstom Tramvay Araçları Aylık Bakım Maliyetleri ile MDBF Değerleri Tablosu (T1)

AYLAR	Toplam Bakım Maliyeti (TL)	MDBF (KM)
Ocak	₺51.265,62	1595
Şubat	₺78.403,13	1634
Mart	₺84.956,93	1648
Nisan	₺51.279,11	2245
Mayıs	₺108.414,87	1761
Haziran	₺62.811,06	1465
Temmuz	₺57.277,91	1635
Ağustos	₺348.681,96	2300
Eylül	₺54.309,35	2014
Ekim	₺84.106,44	1983
Kasım	₺54.733,74	2205
Aralık	₺153.248,50	1473

Bakım maliyetleri ile MDBF değerleri yukarıdaki tabloda bir araya getirilmiştir. Tabloda 2019 yılı için her aya karşılık gelen bakım maliyeti ve araç performansı gösterilmiştir.



Şekil 2. Alstom Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Araçların ay bazlı MDBF ve toplam bakım maliyetleri aynı tabloda gösterildiğinde yukarıdaki grafik oluşmaktadır. Grafiği yorumladığımızda Ocak ayından Mart ayına kadar MDBF değerleri ile bakım maliyetleri paralel olarak artmaktadır. Mart ayı boyunca toplam bakım maliyetleri

azalırken MDBF değerleri artmaktadır. MDBF iki arıza arasındaki kilometre olduğundan yola çıkılarak MDBF değerinin yükselmesi ve aracın günlük kat ettiği kilometre değerinin sabit kaldığı da göz önüne alındığında MDBF değerinin yükselmesi yapılan düzeltici bakım sayısının azalması anlamına gelmektedir. Bakımda sarf edilen malzemelerin masrafları, araçların bakım yapılabilirliği gibi parametreler göz ardı edilirse; MDBF değerleri ile bakım masraflarının Mart ayından Mayıs ayına kadar olduğu gibi ters orantılı olması beklenir. Ancak Mayıs ayından Temmuz ayına kadar eğrilerin yine paralel davrandığı gözlenmektedir. Özellikle Ağustos ayında bakım maliyetinin pik yaptığı görülmektedir. Bunun nedeni Ağustos ayında yapılan malzeme satın almalarıdır. Eylül ayından sonra ise yılsonuna kadar eğriler birbirlerine ters yönde hareket etmişlerdir.

Tablo 3. 2019 Yılı Alstom Tramvay Araç Başına Ortalama Bakım Maliyeti

ARAÇ SAYISI	TOPLAM ARIZA VE PERİYODİK BAKIM MALİYETİ	ARAÇ BAŞINA ARIZA VE PERİYODİK BAKIM MALİYETİ
37	₺1.189.488,62	₺32.148,34

T1 Kabataş Bağcılar hattında yolculu işletmede çalışan Alstom tramvay araçlarının araç başına sarf edilen toplam bakım maliyeti 2019 yılında yaklaşık 32000 TL olduğu görülmektedir.

3.1.2. T1 hattı Bombardier tramvay aracı (BTA1) incelemesi

T1 hattında Alstom tramvay araçları ile birlikte işletme yapan Bombardier tramvay araçları Alstom araçlarından önce 2002 yılında işletmeye başlamıştır.

Tablo 4. Bombardier Tramvay Araçları 2019 Yılı Aylık Bakım Maliyetleri

Aylar	Toplam Bakım Maliyeti (TL)	MDBF (km)
Ocak	₺76.731,51	1917
Şubat	₺87.428,87	1811
Mart	₺164.946,35	2628
Nisan	₺119.953,90	2646
Mayıs	₺181.088,72	2350
Haziran	₺321.191,19	1957
Temmuz	₺129.624,74	1622
Ağustos	₺205.352,17	2105
Eylül	₺161.435,63	2422
Ekim	₺89.508,08	2043
Kasım	₺298.624,04	2535
Aralık	₺163.393,62	2160
Genel Toplam	₺1.999.278,82	2183

Bombardier tramvay araçları RAMS performansı ve bakım maliyetleri arasında Mart-Haziran ayları arasında beklenen ilişki kurulabilmektedir. Aynı şekilde Eylül ayının ortalarında Ekim ayına kadar kısmi olarak beklenen ilişki kurulabilir. Ancak genel tabloya bakıldığında tabloya zıt yönlü bir ilişki hakimdir.

Sistemden çekilen bakım maliyetleri verilerine göre Bombardier markalı tramvay araçlarının Alstom marka tramvay araçlarının bakım maliyetlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni T1 hattında çalışan 55 adet Bombardier marka tramvay aracı varken 37 adet Alstom

marka tramvay aracı bulunmaktadır. Alstom ve Bombardier markalı araçlarda sağlıklı bir karşılaştırma yapılması için araç başına düşen bakım maliyetlerine bakmak doğru olacaktır.

Tablo 5. T1 Hattı Alstom ve Bombardier Araçları 2019 Yılı Bakım Maliyetleri Karşılaştırması

Araç markası	Bombardier	Alstom
Üretim tarihi	2002	2009
Araç başı işçilik maliyeti (TL)	₺9.694,00	₺11.379,00
Araç başı malzeme maliyeti (TL)	₺26.655,00	₺20.769,00
Araç başı toplam bakım maliyeti (TL)	₺36.350,00	₺32.147,00

Alstom ve Bombardier tramvay araçları aynı hat üzerinde ve aynı çalışma şartlarında işletme yapmakta olan araçlardır. Tablodan görüleceği üzere beklenenin aksine 2002 yılında üretimi yapılan Bombardier marka tramvaylarına harcanan araç başına işçilik maliyeti, üretimi 2007' de yapılan ve daha üst seviyeli teknolojik ekipmanlarla donatılmış Alstom araçlarına göre daha azdır. Bunun nedeni Alstom tramvayların elektrik tesisatının karmaşık yapısı, malzeme sökme takma işlemlerinin uzun sürmesi ve bakım yapılabilirlik açısından Bombardier tramvayların gerisinde kalmasıdır.

Teknolojik olarak Alstom' un gerisinde olan Bombardier tramvay araçlarının araç başına düşen ortalama bakım maliyeti 35.615,45 TL iken Alstom tramvay araçlarının araç başına düşen bakım maliyeti 32.148,34 TL olduğu görülmüştür.

Yine 2009 yılında üretimi yapılan Alstom marka tramvay araçlarının malzeme maliyeti, üretimi 2002 yılında yapılan Bombardier marka tramvay araçlarına göre daha azdır. Bunun nedeni Bombardier marka araçlarda 15 yıl ömür tavsiye edilen kompresör ya da rulman gibi bazı ekipmanların değişimi olabilir.

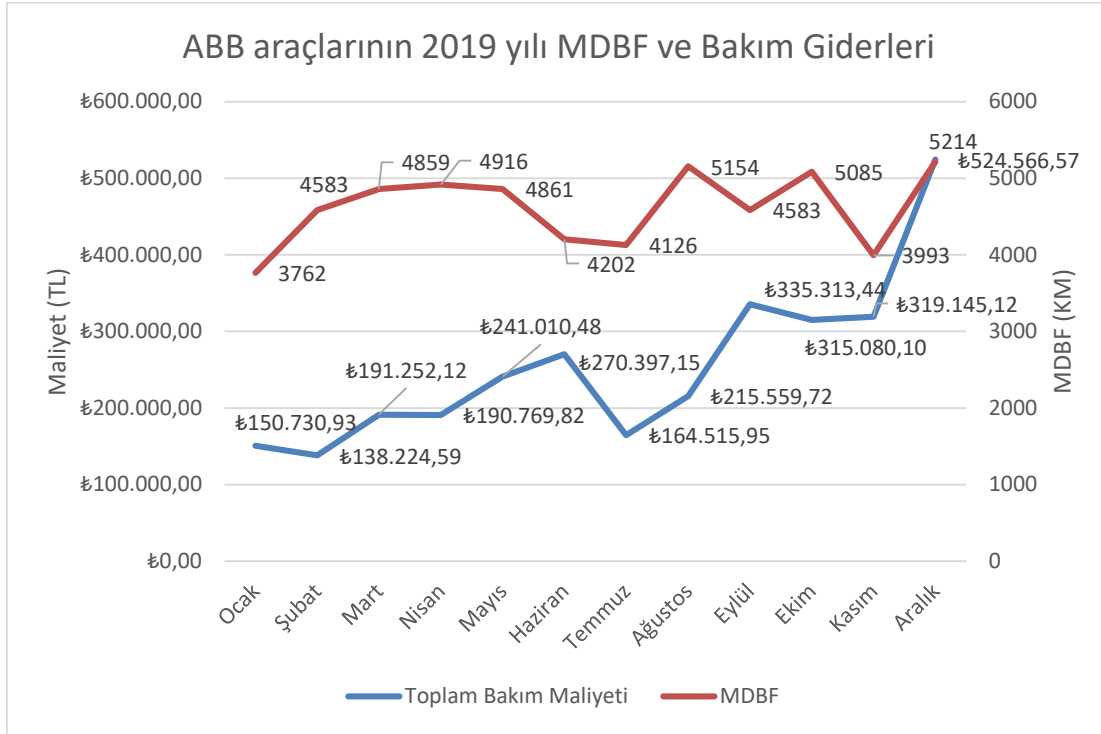
3.1.3. M1 hattı ABB hafif metro aracı (ABB1) incelemesi

M1 hattımız Metro İstanbul' un yolculu işletme yaptığı ilk hattıdır. ABB markalı hafif metro araçları ile Yenikapı-Atatürk Hava Limanı (M1 A) ve Yenikapı-Kirazlı (M1 B) arasında çalışmaktadır.

Tablo 6. ABB Hafif Metro Aracı 2019 Yılı Aylık Bakım Maliyeti-MDBF Tablosu

Aylar	Toplam Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺150.730,93	3762
Şubat	₺138.224,59	4583
Mart	₺191.252,12	4859
Nisan	₺190.769,82	4916
Mayıs	₺241.010,48	4861
Haziran	₺270.397,15	4202
Temmuz	₺164.515,95	4126
Ağustos	₺215.559,72	5154
Eylül	₺335.313,44	4583
Ekim	₺315.080,10	5085
Kasım	₺319.145,12	3993
Aralık	₺524.566,57	5214

Tabloda verilen aylık veriler ile aşağıdaki grafik oluşturulmuştur. Grafiğe göre yılbaşından Nisan-Mayıs aylarına kadar her iki çizgi de artan değerleri izlemektedir.



Şekil 3. ABB Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Nisan ayından Temmuz ayına kadar zıt yönlü hareket etmişlerdir. Grafiklere göre de bakım maliyetleri ile MDBF değerleri arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır.

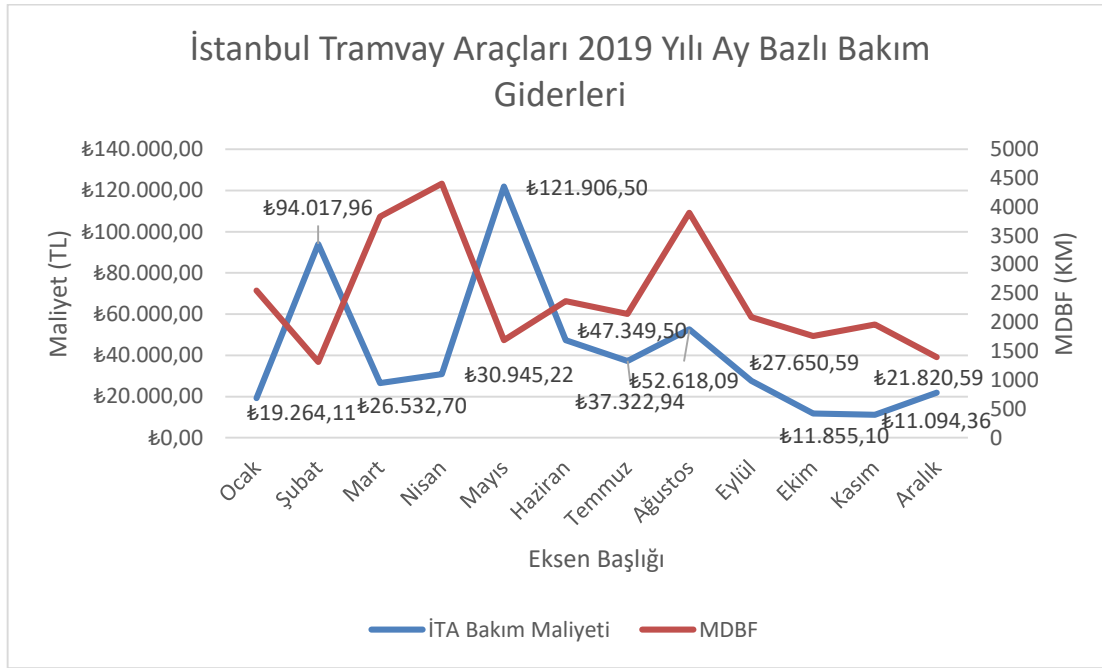
3.1.4. T4 hattı İstanbul tramvay aracı (İTA1) incelemesi

İstanbul tramvay araçları (İTA) üretimi 2015 yılında Metro İstanbul tarafından üretilen ve T4 Topkapı Habibler Mescid-i Selam hattında işletme yapan yüksek tabanlı tramvaylardır. 18 araçtan oluşan filo üç araçlık diziler halinde işletme yapmaktadır.

Tablo 7 İTA Araçları 2019 Yılı Bakım Maliyeti ve MDBF Değerleri

Aylar	İTA Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	19.264,11	2550
Şubat	94.017,96	1313
Mart	26.532,70	3832
Nisan	30.945,22	4406
Mayıs	121.906,50	1692
Haziran	47.349,50	2369
Temmuz	37.322,94	2144
Ağustos	52.618,09	3901
Eylül	27.650,59	2090
Ekim	11.855,10	1764
Kasım	11.094,36	1965
Aralık	21.820,59	1396

İstanbul tramvay araçlarının RAMS değerleri ortalama değerlerde seyretmiştir. 2019 yılında araçlardan yüksek performans alınamamıştır.

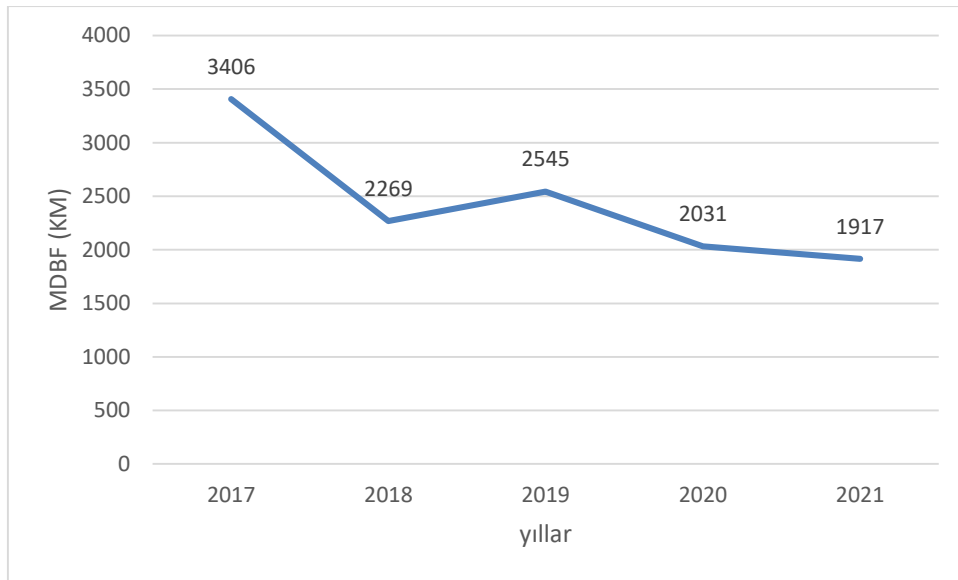


Şekil 4. İTA Araçları 2019 Ay Bazlı MDBF ve Bakım Giderleri Grafiği

Haziran ayına dek İstanbul tramvay araçlarında MDBF değerleri ve maliyet grafikleri beklendiği gibi seyretmiştir. Haziran-Ekim ayları arasında grafik çizgileri paralellik gösterse de Ekim ayından yılsonuna kadar grafik çizgileri toparlanmıştır. Haziran-Ekim arasındaki 4 aylık dönem de bakım maliyetleri ile RAMS verileri arasında bir ilişkinin olmadığı bu dönem dışında bakım maliyetleri ile RAMS verileri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

3.1.5. T4 hattı Köln tramvay aracı (KTA1) incelemesi

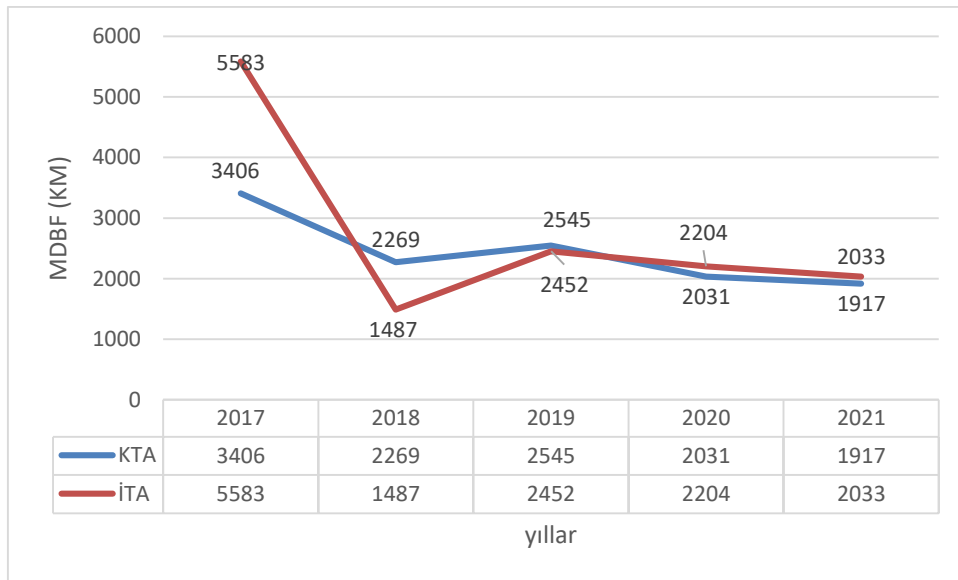
T4 Topkapı-Habibler hattında çalışan Köln tramvay aracı olarak adlandırdığımız araçlar; 1976 yılında Siemens, Duewag ve Kiepe firmalarının ortaklığı ile yapılmıştır. Önceleri Almanya'nın Köln şehrinde işletme yapan araçlar 2007 yılında Metro İstanbul tarafından ikinci el olarak satın alınmıştır. Araçlar Metro İstanbul araç envanterinin en yaşlı araçları olarak halen T4 Topkapı Habibler hattında işletme yapmaktadır.



Şekil 5. T4 KTA Araçlarının 2017-2021 Yılları Arası MDBF Değerleri

T4 Topkapı-Habibler hattında işletme yapmakta olan KTA araçlarının 2017-2021 yılları arasına ait MDBF değerleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Yukarıdaki grafiğe bakıldığında 1976 yapımı olan ve 45 yılını dolduran araçların MDBF değerleri azalan eğilimle seyretmektedir. Bunun nedeni araçta bulunan malzeme ve ekipmanların kullanım ömrünü doldurması olarak yorumlanabilir. Aracın çeşitli sistemlerde iyileştirici revizyonlar yapılmasına rağmen MDBF değerleri düşmeye devam etmektedir.

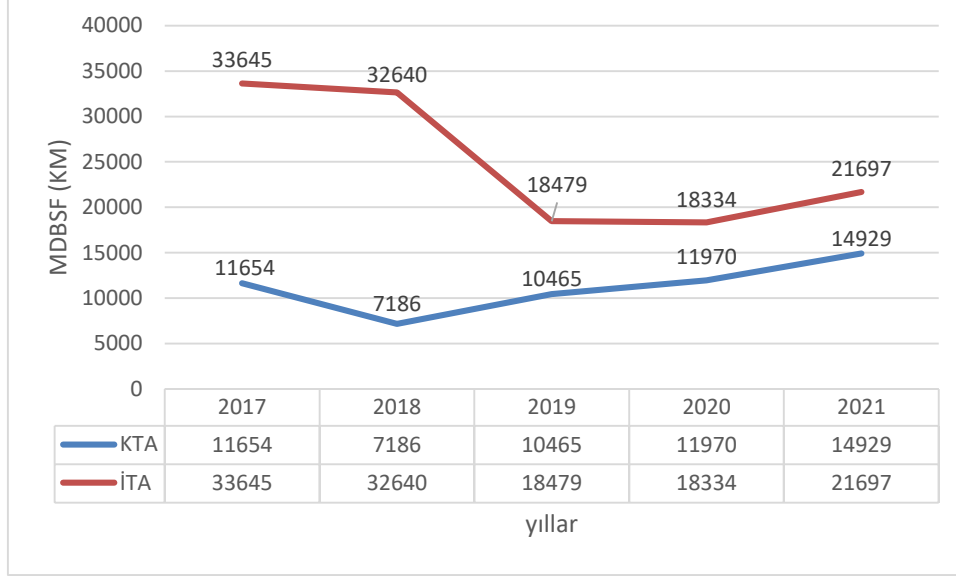
KTA araçlarını yine T4 Topkapı-Habibler hattında aynı çevresel koşullara maruz kalan çalışan İTA araçlarıyla karşılaştığımızda aşağıdaki grafiği elde ederiz.



Şekil 6. T4 İTA ve KTA Araçlarının 2017-2021 Arası MDBF Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde 2018 yılında her iki aracın da performansındaki düşüş göze çarpmaktadır. 2018 yılından 2021 yılının sonuna kadar araçların MDBF değerleri birbirine yakın seyretmektedir. Bu grafikten araçların yaşlarına bağlı MDBF değerleri değişmeyebilir yorumu yapılabilir. Bunun nedeni KTA araçlarında çeşitli revizyonların yapılması ve sıvı yağlama, yangın algılama, sürücü

kabin kliması, yolcu bilgilendirme gibi sistemlerin olmamasıdır. Bu arızalar işletme için sürüşe mani değildir. Fren sistemi, cer sistemi, pantograf gibi sistemlerde meydana gelen arızalar arızanın niteliğine göre sürüşe mani olabilirler. Bu sistemler çeşitli değişiklikler gösterebilir de iki araçta da var olan sistemlerdir. Bu yüzden araçların MDBF yerine MDBSF verileri karşılaştırılırsa daha gerçekçi sonuçlar elde edilecektir. İlgili hatlara ait 2017-2021 yılları arasındaki MDBSF değerleri hesaplanarak aşağıdaki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 7. T4 KTA ve İTA 2017-2021 Arası MDBSF Karşılaştırması

Grafikte 1975 model KTA araçları ile 2014 model İTA araçlarının MDBSF değerleri karşılaştırılmıştır. Grafik; İTA araçlarında iki servise mani arıza arasındaki ortalama kilometre değerinin KTA araçlarına oranla daha iyi seviyelerde olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 8. 2019-2020 Yılları KTA ve İTA Bakım Maliyeti Karşılaştırması

Araç tipi	Yıl	Araç sayısı	Toplam işçilik maliyeti	Toplam Malzeme maliyeti	Toplam maliyet	Araç başına toplam maliyet
KTA	2019	30	₺350.954,54	₺180.838,73	₺531.793,27	₺17.726,44
İTA	2019	18	₺133.170,77	₺366.168,82	₺499.339,59	₺27.741,09
KTA	2020	30	₺315.453,52	₺179.103,47	₺494.556,99	₺16.485,23
İTA	2020	18	₺130.135,55	₺241.851,33	₺371.986,88	₺20.665,94

KTA ve İTA araçlarının 2019 ve 2020 yıllarına ait periyodik ve düzeltici bakım maliyetleri karşılaştırıldığında yukarıdaki tablo oluşmaktadır. Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere hem 2019 yılında hem de 2020 yılında araç başına sarf edilen maliyet KTA' larda daha fazladır.

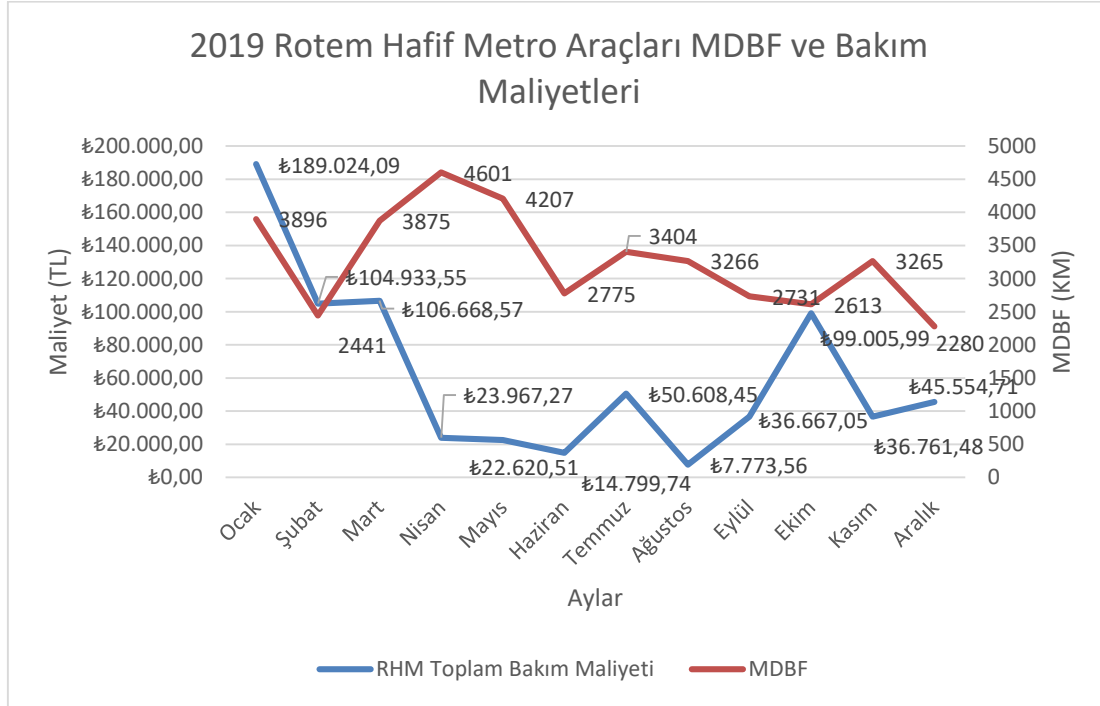
3.1.6. T4 hattı Hyundai Rotem hafif metro aracı (RHM1) incelemesi

Hyundai Rotem markalı hafif metro araçları 2008 yılında yılında T4 Topkapı Habibler hattında işletmeye başladı. Rotem hafif metro araçlarının araç başı bakım maliyetleri değerlendirildiğinde periyodik bakım ve düzeltici bakım maliyetleri toplamı 22.147 TL olduğu görülmektedir.

Tablo 9. Rotem Hafif Metro Araçlarının 2019 Yılı Bakım Maliyetleri ve RAMS Değerleri

Aylar	RHM Toplam Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺189.024,09	3896
Şubat	₺104.933,55	2441
Mart	₺106.668,57	3875
Nisan	₺23.967,27	4601
Mayıs	₺22.620,51	4207
Haziran	₺14.799,74	2775
Temmuz	₺50.608,45	3404
Ağustos	₺7.773,56	3266
Eylül	₺36.667,05	2731
Ekim	₺99.005,99	2613
Kasım	₺36.761,48	3265
Aralık	₺45.554,71	2280

RHM1 araçlarının MDBF ve toplam bakım maliyetleri bir araya getirilerek yukarıdaki tablo oluşturulmuş ve grafiğe dökülmüştür.



Şekil 8. RHM 2019 Yılı Bakım Maliyetleri ve MDBF Değerleri Grafiği

Grafik yorumlandığında beklenenin aksine yılbaşından yılın ortalarına kadar çizgiler paralel ilerlemiştir. Ağustos ayından yılsonuna kadar ise MDBF oranları ile bakım maliyetleri bir birlerine zıt yönde hareket etmişlerdir.

3.2. Metro Araçlarında Bakım Maliyeti ve RAMS İlişkisi

Bu kısımda Metro İstanbul'da yolculu işletmede çalışan metro araçlarının bakım maliyeti ile RAMS arasındaki ilişki incelenmiştir. İncelemede farklı tip metro araçları değerlendirilmeye alınmıştır.

3.2.1 M2 hattı Hyundai Rotem metro treni (RMT1) incelemesi

Rotem Metro Araçları (RMT1) M2 Yenikapı-Hacıosman Hattı'nda işletme yapmakta olan araçlardır. Filo toplam 92 araçtan oluşmaktadır. 2008 Yılında yolculu işletmede kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 10. 2019 Yılı Aylara Bağlı Bakım Maliyeti ve MDBF Değerleri

	BAKIM MALİYETİ	MDBF (km)
Ocak	120.688,00 ₺	22678
Şubat	78.898,00 ₺	19067
Mart	86.647,00 ₺	17644
Nisan	111.788,00 ₺	22783
Mayıs	99.643,00 ₺	31805
Haziran	124.518,00 ₺	18175
Temmuz	54.656,00 ₺	15028
Ağustos	37.712,00 ₺	15832
Eylül	107.788,00 ₺	16826
Ekim	104.391,00 ₺	18721
Kasım	120.904,00 ₺	16275
Aralık	117.171,00 ₺	29096

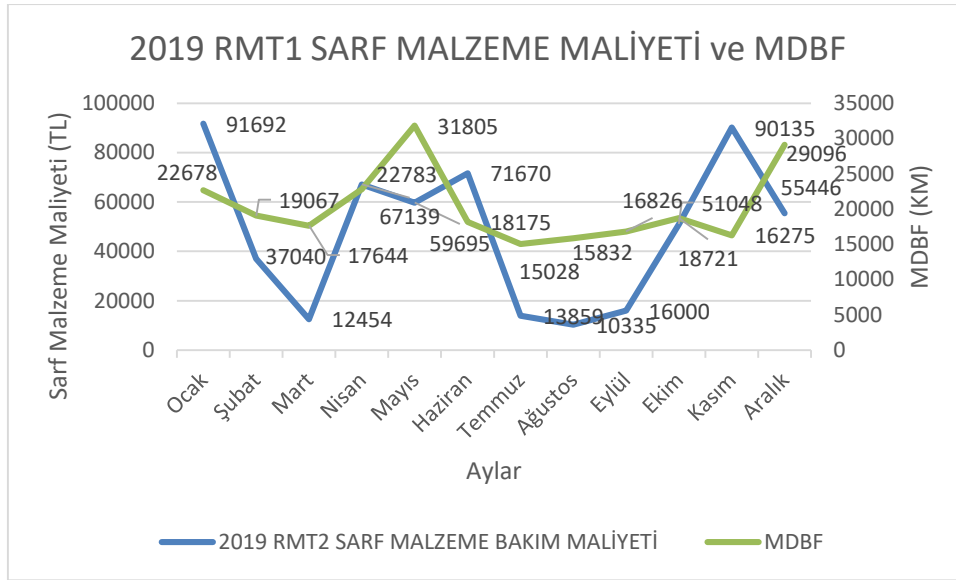
Tablodan bakım maliyeti (işçilik ve malzeme) ile RAMS arasında doğrudan bir ilişki olmadığı görülmektedir. Bazı aylarda bakım maliyeti azalmasına rağmen MDBF düşmüştür. Bakım maliyetinin az olması aracın daha az arızalanacağı anlamına gelir bu durumda RAMS değerlerinin yüksek olması beklenir. Örneğin 2019 Şubat ayında bakım maliyetinin düşmesine rağmen MDBF değeri de düşmüştür.

Benzer inceleme işçilik maliyeti çıkarılarak sadece sarf malzemeler üzerinden yapılmıştır.

Tablo 11. 2019 Yılı RMT1 Sarf Malzeme ve MDBF Tablosu

Aylar	Sarf malzeme maliyeti	MDBF (km)
Ocak	₺91.692,00	22678
Şubat	₺37.040,00	19067
Mart	₺12.454,00	17644
Nisan	₺67.139,00	22783
Mayıs	₺59.695,00	31805
Haziran	₺71.670,00	18175
Temmuz	₺13.859,00	15028
Ağustos	₺10.335,00	15832
Eylül	₺16.000,00	16826
Ekim	₺51.048,00	18721
Kasım	₺90.135,00	16275
Aralık	₺55.446,00	29096

Tablo 11' deki veriler grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 9. 2019 Yılı RMT1 Sarf Malzeme ve MDBF Grafiği

Yukarıda görüleceği üzere sarf malzeme maliyeti ile MDBF arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Örneğin 2019 Şubat ayında bakım maliyeti düşerken MDBF değeri de düşmüştür. Benzer şekilde bakım maliyeti Nisan 2019'da artarken MDBF değeri de artmıştır.

3.2.2. M2 hattı Alstom metro treni (AMT1) metro aracı incelemesi

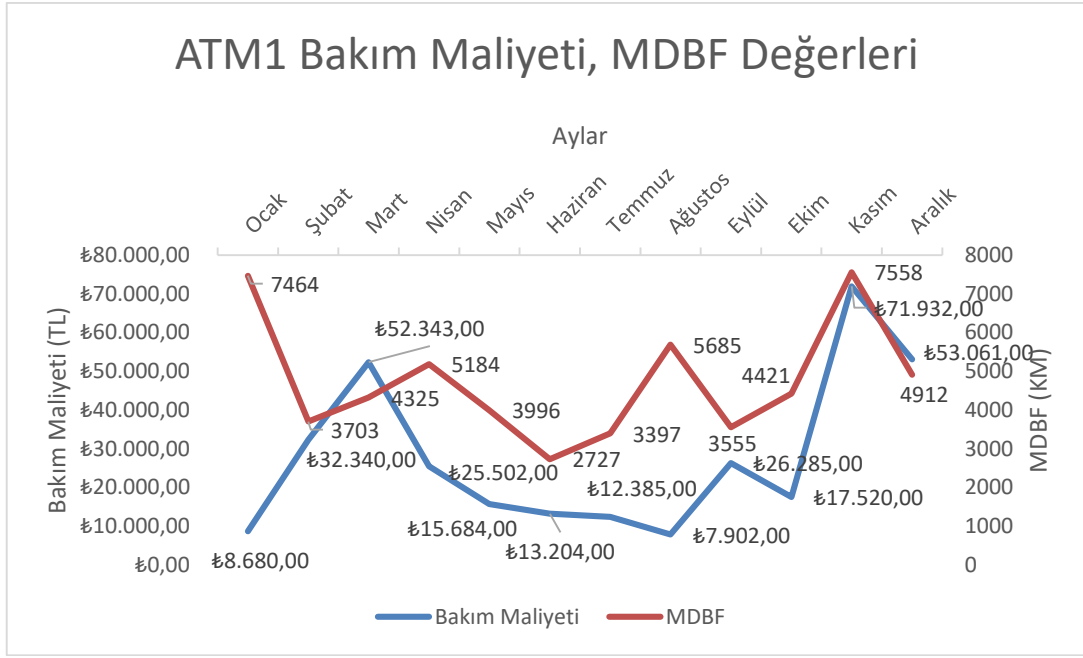
AMT1 araçları Metro İstanbul'un M2 Yenikapı-Hacıosman hattında işletme yapmaktadır. Filo toplam 32 araçtan oluşmaktadır. 1999 Yılında hizmete alınmıştır.

2019 yılı toplam harcama değerleri ile 2019 yılı RAMS değerlerinin MDBF verileri ortak bir tabloya işlenmiş, aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir. Burada bakım maliyeti işçilik ve malzeme maliyeti toplamı değerlendirmeye alınmıştır. RAMS Hesaplamalarından MDBF verileri değerlendirilmek üzere alınmıştır.

Tablo 12. AMT1 Bakım Maliyeti ve MDBF Tablosu-2019

ATM1 Bakım Maliyeti, MDBF Değerleri		
	Bakım Maliyeti	MDBF (km)
Ocak	8.680,00 ₺	7464
Şubat	32.340,00 ₺	3703
Mart	52.343,00 ₺	4325
Nisan	25.502,00 ₺	5184
Mayıs	15.684,00 ₺	3996
Haziran	13.204,00 ₺	2727
Temmuz	12.385,00 ₺	3397
Ağustos	7.902,00 ₺	5685
Eylül	26.285,00 ₺	3555
Ekim	17.520,00 ₺	4421
Kasım	71.932,00 ₺	7558
Aralık	53.061,00 ₺	4912

Toplam bakım maliyetleri ve MDBF verileri grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 10. ATM1 Bakım Maliyeti, MDBF Değerleri

Yukarıdaki grafikte görüleceği üzere 2019 Şubat ayında MDBF değeri düşerken bakım maliyeti artmıştır. Mart ayında MDBF değeri artarken bakım maliyeti de artmıştır. Mayıs ayında MDBF değeri düşerken bakım maliyeti de düşmüştür. Kasım ayında MDBF değeri artarken bakım maliyeti de artmıştır. MDBF ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı görülmektedir.

3.2.3. M3 hattı Alstom metro treni (AMT2) incelemesi

2. Alstom metro araçları M3 Kirazlı-Metrokent hattında işletme yapmakta olan araçlardır. Filo 80 araçtan oluşmaktadır. AMT2 (2. Alstom Metro Araçları) 2009 yılında hizmete alınmıştır.

Tablo 13. M3 Hattı Yıllara Bağlı Maliyet Giderleri

YIL	İŞÇİLİK MALİYETİ	MALZEME MALİYETİ	TOPLAM
2019	₺404.818,00	₺289.626,00	₺694.444,00
2020	₺433.611,00	₺603.398,00	₺1.037.009,00
2021	₺700.653,00	₺1.467.708,00	₺2.168.361,00

Yukarıda AMT2 aracına ait yıllara bağlı bakım maliyet tablosu paylaşılmıştır.

Tablo 14. Yıllara Bağlı RAMS Verileri

RAMS VERİLERİ				
	MDBF (km)	MDBSF (km)	MTBF (saat)	MTBSF (saat)
2019	10996	444954	281	11407
2020	17618	565001	451	14486
2021	14844	252018	380	6462

AMT2 Aracının yıllara bağlı rams verileri yukarıda tabloda paylaşılmıştır. Toplamda 80 araç mevcuttur. Araç başına yıllık maliyet aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 15. Araç Başına Maliyet

	Araç Başına Maliyet	MDBF (KM)
2019	₺ 8.680,55	10996
2020	₺12.962,61	17618
2021	₺27.104,51	14844

Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere araç başına maliyet 2020 yılında artmıştır, MDBF değeri de 2020 yılında artış göstermiştir. 2021 Yılında araç başına bakım maliyeti artarken, MDBF değeri düşüş göstermiştir. Burada görüleceği üzere yıllara bağlı RAMS verileri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

3.2.4. M4 hattı CAF metro treni (CMT1) incelemesi

M4 hattında çalışan 144 araçtan oluşan CAF Metro filosu 2011 yılında hizmete alınmıştır.

Tablo 16. M4 Hattı CAF Metro Aracı Yıllara Bağlı Maliyet Giderleri

YIL	İŞÇİLİK MALİYETİ (TL)	MALZEME MALİYETİ (TL)	TOPLAM (TL)
2019	₺161.457,00	₺853.938,00	₺1.015.395,00
2020	₺2.969.122,00	₺7.608.023,00	₺10.577.145,00
2021	₺579.138,00	₺1.098.437,00	₺1.677.575,00

CAF metro aracının yıllara bağlı rams verileri yukarıda tabloda paylaşılmıştır. Toplamda 144 araç mevcuttur. Araç başına yıllık maliyet aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Tablo 17. CAF Metro Aracı Araç Başına Maliyet

	Araç Başına Maliyet	MDBF (KM)
2019	₺7.051,35	19835
2020	₺73.452,40	21639
2021	₺11.649,83	16054

Yukarıdaki tabloda görüleceği üzere araç başına maliyet 2020 yılında artmıştır, MDBF değeri de 2020 yılında artış göstermiştir. 2021 Yılında araç başına bakım maliyeti artarken, MDBF değeri düşüş göstermiştir. Burada görüleceği üzere CAF metro aracında yıllara bağlı RAMS verileri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

3.2.6. Araç genel durum kıyaslaması

Tablo 18. Araç Genel Kıyas Tablosu

	M3 AMT2	M4 CAF	M5 CAF	M2 RMT2	M2 AMT1
Üretim yılı	2009	2011	2017	2008	1999
Araç sayısı	80	144	126	34	32
2019 MDBF (KM)	10996	19835	12208	19530	4728
2020 MDBF (KM)	17618	21639	17054	31230	8816
2021 MDBF (KM)	14844	16054	13208	29539	4407
Son 3 yıla ait ortalama MDBF (KM)	14486	19176	14157	26766	5984

Son 3 yıl verileri incelendiğinde MDBF değeri en yüksek olan araç RMT2'dir. En düşük araç ise AMT1 aracıdır. Araçların yaşı ile MDBF değerleri arasında anlamlı bir ilişki göze çarpmaktadır. Aracın yaşı 1-4 yılları arasında ise MDBF değerinin arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum araç yeni olduğu için bir takım arızaların oluşması, sistemler üzerinde revizyon yapılması muhtemeldir. Araç yaşı 10 yıl -13 yıl arasında ise MDBF değeri yüksek çıkmaktadır. Sistemler stabil hale geldiği için arıza sayısı düşmektedir. Araç yaşı 20 yıldan fazla ise çoğu ekipman ömrünü doldurmaya başladığı için arızalar sıklığı artmaktadır. Sistemlerde revizyon ihtiyaçları doğmaktadır. Yolcu konforunu etkileyen sistemlerde revizyonlar gerektiğinden bakım maliyetleri de artmaktadır.

Raylı sistem işletmelerinde en önemli veriler arasında bakım maliyeti ve RAMS verileri yer almaktadır. Bakım maliyetini düşürmek, RAMS verilerini arttırmak için işletmeler sürekli analiz yaparlar. En çok arıza veren sistemler RAMS verileri incelenerek tespit edilip, kök neden bulunur. Kök nedenleri bulunan arızalara kalıcı çözümler getirilir. Arıza sayısını düşürmek aracın işletmede daha uzun süre kalmasını sağlayacağından, ekonomik, konfor, memnuniyet gibi parametrelere etkisi olur.

Bakım maliyeti ile MDBF arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Bunun temel sebebi dönemsel olarak yapılan ağır bakım çalışmaları, mevsimler bakımları, revizyon ve iyileştirmelerdir. İşletmelerde lojistik desteklerin yeterli olmadığı durumlar da söz konusu olabilir. Örneğin, depo farklı bir konumda atölye farklı bir konumda olabilir. Bu durumlarda arızalı araca müdahale etmek için hazırda malzeme bulundurma ihtiyacı doğabilir. Depodan alınan malzemeler masraf olarak o ayki mali tabloya yansır.

Bazı arızaların arıza giderilme maliyetleri yüksek olabilir. Örneğin fren sistemini, anons sistemini kontrol eden elektronik kartlar, araç kontrol sistemi kartları pahalı ekipmanlar olduğu için bunlarda meydana gelecek arızaların maliyeti de yüksek çıkabilir. Bu tür sistemlerde arıza sayısı az olmasına rağmen diğer sistemlere göre maliyetler yüksek olacaktır. Bu sebeplerle RAMS değerleri ile bakım maliyeti arasında anlamlı bir ilişkinin oluşması beklenmez.

Farklı araç tiplerinin bakım maliyetleri ve RAMS değerlerinin karşılaştırılması için uygulama başlığı altında bulunan farklı üreticilere sahip araçların bakım maliyetleri ve MDBF değerleri derlenerek aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 19. Metro, Hafif Metro ve Tramvay Araçlarının
2018, 2019 ve 2020 MDBF Değerlerinin Karşılaştırılması

Araç tipi	Araç Üreticisi	2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	2018 Yılı Ortalama MDBF (km)
METRO	M2-ROTEM2	50063	18782	7724
	M5-CAF2	14855	11536	1048
	M4-CAF1	18486	19350	19726
	M3-ALSTOM2	15419	10970	11650
	M2-ROTEM1	27265	20327	21730
	M2-ALSTOM1	7773	4744	5858
Metro Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		22310	14285	11289
HAFİF METRO	T4-ROTEM	2438	3279	2852
	M1-ABB	4612	4612	4422
Hafif Metro Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		3525	3945	3637
TRAMVAY	T1-ALSTOM	2558	1830	2059
	T1-BOMBARDİER	2563	2183	2221
	T4-ITA	2204	2452	3338
	T4-KTA	2031	2545	2269
Tramvay Araçlarının Ortalama Mdbf Değerleri		2339	2252	2472

Yukarıdaki tabloda bazı metro, hafif metro ve tramvay araçlarının 2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait ortalama MDBF değerleri karşılaştırılmıştır. Metro araçlarında 2018, 2019 ve 2020 yıllarının ortalama MDBF değeri yaklaşık 16.000 kilometre iken hafif metroların ortalama MDBF değeri 3702 kilometre, tramvay araçlarının 3 yıllık ortalama MDBF değerleri ise yaklaşık 2354 kilometre olduğu görülmektedir. Karşılaştırma sonucunda metro araçlarının MDBF değerlerinin hafif metro ve tramvayların MDBF değerlerine göre oldukça yüksek olduğu ve hafif metroların performanslarının tramvay araçlarından çok az daha fazla olduğu göze çarpmaktadır.

Benzer bir karşılaştırma da bakım maliyetleri için yapılmış ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo20. Bakım Maliyetleri Karşılaştırılması

Araç tipi	Araç Üreticisi	2019 Yılı Bakım Maliyetleri	2019 Yılı Araç Başına Düşen Bakım Maliyetleri
METRO	M4-CAF	₺1.015.395,00	₺7.051,35
	M3-ALSTOM	₺694.444,00	₺8.680,55
	M2-ROTEM1	₺1.164.804,00	₺12.660,91
	M2-ALSTOM	₺1.469.538,00	₺45.923,06
METRO ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺18.578,97
HAFİF METRO	T4-ROTEM	₺753.016,34	₺22.147,54
	M1-ABB	₺3.056.565,99	₺29.110,15
HAFİF METRO ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺25.628,85
TRAMVAY	T1-ALSTOM	₺1.189.488,62	₺32.148,34
	T1-BOMBARDİER	₺1.999.278,82	₺36.350,52
	T4-ITA	₺499.495,75	₺27.749,76
	T4-KTA	₺531.793,27	₺17.726,44
TRAMVAY ARAÇLARININ ORTALAMA ARAÇ BAŞINA DÜŞEN BAKIM MALİYETİ			₺28.493,77

Tablodan görüleceği üzere metrolar için 2019 yılında araç başına harcanan bakım maliyeti ortalaması yaklaşık 18.579 TL iken hafif metrolarda yaklaşık 25.628 TL, tramvaylarda ise 28.493 TL' dir. Araç başına düşen bakım maliyetleri değerlendirildiğinde en yüksek bakım maliyetlerinin tramvaylarda sonra hafif metrolarda ve en son metro araçlarında olduğu görülmektedir. Metroların MDBF değerlerinin tramvaylara göre 6.34 kat fazla olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu uçurumun maliyetlere yansımadağı görülmektedir.

Bakım maliyetleri ve MDBF' ler birlikte ele alındığında metro araçlarının hem hafif metro araçlarına hem de tramvaylara göre daha düşük bakım maliyeti ve daha yüksek performansla işletme yaptığı görülmektedir. Ancak yatırım maliyetleri de tramvay ve hafif metro hatlarına göre yüksektir.

Araç yaşının bakım maliyetlerine ve RAMS' a etkisini incelemek için en iyi örnek M2 Yenikapı Hacıosman hattında çalışan 2008 model RMT1 (Rotem metro trenleri 1) ve 2017 model RMT2 (Rotem metro trenleri 2) araçlarının karşılaştırmak olacaktır. Çünkü bu araçlar aynı araç üreticisinin ürünüdür ve aynı hatta çalışmaktadırlar. Her iki araç da sürücülü şekilde ATC (Automatic Train Control) modunda ve manuel olarak çalıştırılabilmektedir.

Araç yaşının güvenilirliğe etkisini karşılaştırmak için uygulama başlığı altında RMT1 ve RMT2 için verilen MDBF verileri derlenerek aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 21. RMT1 ve RMT2 Araçlarının MDBF Karşılaştırma Tablosu

MDBF (Km)	M2-ROTEM 2	M2-ROTEM 1
Araç Üretim Yılı	2017	2008
2018 Yılı Ortalama MDBF (km)	7724	21730
2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	18782	20327
2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	50063	27265
2021 Yılı Ortalama MDBF (km)	38011	28582
4 Yılın Ortalama MDBF (km)	28645	24476

2018, 2019 ve 2020 yıllarına ait MDBF verileri incelendiğinde ilk göze çarpan özellikle RMT2 araçlarının yıldan yıla artan güvenilirlikleridir. 2018 yılında 7724 km ile başlayan MDBF değeri yapılan revizyonlar ve iyileştirme faaliyetleri ile 2019 yılında 18782 km' ye ve 2020 yılında 50063 km' ye kadar çıkmıştır. Buna paralel olarak RMT1 araçlarının MDBF değeri 20000 kilometrelerde stabil olarak hareket etmektedir. RMT 2 araçlarının güvenilirliği 2020 yılında RMT1 araçlarını geride bırakarak büyük bir başarıya ulaşmıştır. 2021 yılında RMT2 araçlarının ortalama MDBF değeri kısmen düşse de RMT1 araçlarının önünde tamamlamıştır. Dolayısıyla araç yaşı arttıkça güvenilirliği azaldığı ve araç yaşının güvenilirlikle ters orantılı olduğu kolaylıkla söylenebilir.

RMT1 ve RMT2 araçlarının emre amadelik oranlarını karşılaştırmak hayli zordur. Emre amadelik planlanan sefer sayısının gerçekleştirilen sefer sayısına oranıdır. RMT1 ve RMT2 araçları aynı hatta işletme yaptıkları için bir aracın arızalanması durumunda diğer araçla işletme yapılabilmektedir. Örneğin; RMT1 treni arızalanması durumunda depoda yedek olarak bekletilen RMT2 treni ile sefere çıkılabilmektedir. Seferler araç markalarına göre planlanmadığından emre amadelik araçtan araca değişmemektedir. Planlanan ve gerçekleşen sefer sayıları her iki aracı da kapsamaktadır.

RAMS' in alt başlıklarından bir diğeri de bakım yapılabilirliktir. Raylı sistem araçlarında bakım yapılabilirlik; araçlarda düzeltici bakım yapılırken harcanan toplam iş yükünün arıza sayısına bölünmesiyle bulunmaktadır. MTTR (Main Time To Repair) kısaltmasıyla gösterilir. Araç bazında değerlendirildiğinde araç yaşı arttıkça MTTR değerinin azalması beklenmektedir. Bunun nedeni bakım ekibinin yapmış olduğu standart zaman çalışmaları ve iyileştirici revizyonlardır.

Araç teknolojisinin bakım maliyetlerine ve RAMS' a etkisini incelemek için M4 Kadıköy Tavşantepe hattında çalışan 2011 model CMT1 (CAF metro trenleri 1) ve M5 Üsküdar Çekmeköy hattında sürücüsüz olarak çalışan 2017 model CMT2 (CAF metro trenleri) araçları karşılaştırılabilir.

Tablo 202. CMT1 ve CMT2 Metro Araçlarının MDBF Güvenilirlik Karşılaştırılması

Araç Üreticisi	M4-CAF (CMT1)	M5-CAF (CMT2)
2018 Yılı Ortalama MDBF (km)	19726	1048
2019 Yılı Ortalama MDBF (km)	19350	11536
2020 Yılı Ortalama MDBF (km)	18486	14855
2021 Yılı Ortalama MDBF (km)	19000	17012

Yukarıdaki tabloda M4 CMT1 (CAF Metro Treni 1) ve M5 CMT2 (CAF Metro Treni 2) araçlarının güvenilirlik karşılaştırılması yapılmıştır. 2017 yılında hizmete açılan M5 hattında çalışan CMT2 araçlarının 2018 yılındaki ortalama MDBF değeri 1048 kilometredir. Ancak 2018 yılından itibaren yapılan iyileştirme çalışmaları ile araçların güvenilirlikleri yıldan yıla artmıştır. Yukarıdaki tabloda da CMT1 araçlarının MDBF değerleri ortalama yaklaşık 19000 kilometrelerde

hareket ederken CMT2 araçlarında yukarı doğru artan bir performans izlenmektedir. M2 Yenikapı Hacıosman hattında yine 2017 yılında hizmete giren RMT2 araçlarında da benzer bir durumla karşılaşmıştır. RMT2 araçları hizmete girdikten 3 yıl sonra başarılı bir güvenilirlik oranı yakalamıştır. 2020 ve 2021 yılları baz alındığında CMT2 araçları CMT1 araçlarının gerisinde güvenilirlik oranına sahiptir. Kesin ifadeler kullanabilmek için ilerleyen yıllarda hesaplanacak MDBF verilerine ihtiyaç olacaktır ancak mevcut tabloya göre araç teknolojisi arttıkça araçlarda kullanılan sistemler, ekipmanlar ve komponentler arttığından araçların güvenilirliği azalmaktadır.

M4 Kadıköy Tavşantepe ve M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarına ait emre amadelik oranı kolaylıkla karşılaştırılabilir. Bunun nedeni araçların farklı hatlarda ve tek tip olmasıdır. Emre amadelik oranlarını doğru bir karşılaştırma için 2022 yılına ait güncel veriler alınarak aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 23. CAF1 ve CAF2 Araçlarına Ait Emre Amadelik Oranlarının Karşılaştırılması

		M4	M5
Oca.22	Planlanan Sefer Sayısı	11448	11099
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	11448	11099
	Amadelik Oranı (%)	100	100
Şub.22	Planlanan Sefer Sayısı	10508	10112
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	10508	10111
	Amadelik Oranı (%)	100	99,99
Mar.22	Planlanan Sefer Sayısı	11766	11129
	Gerçekleşen Sefer Sayısı	11755	11119
	Amadelik Oranı (%)	99,9	99,91

Tablodan görüldüğü üzere 2022 yılında her iki aracın da emre amadelik oranı %100 ya da bu değere çok yakın seyretmektedir. Bu başarının yakalanmasının en büyük nedeni Metro İstanbul'un uzun yıllardır süregelen işletme ve bakım tecrübesidir. Bu tabloya göre araç teknolojisinin emre amadelik oranı ile anlamlı bir ilişkisi gözükmemektedir.

Araçların bakım yapılabilirlik açısından karşılaştırılması için yine 2022 yılına ait güncel veriler ile aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 24. 2022 Yılı Verileri

		M4	M5
Ocak	Fiili İş Süresi (dk)	9959	12895
	Toplam Arıza Sayısı	65	103,00
	MTTR (dk)	153,21	125,19
	MTTR (h)	2,55	2,08
Şubat	Fiili İş Süresi (dk)	11146,60	13007
	Toplam Arıza Sayısı	82	145,00
	MTTR (dk)	135,93	89,70
	MTTR (h)	2,26	1,49
Mart	Fiili İş Süresi (dk)	10911	18296
	Toplam Arıza Sayısı	69	161
	MTTR (dk)	158,13	113,63
	MTTR (h)	2,63	1,89

Tabloya göre 2022 yılının ilk 3 ayında da M5 CAF2 yüksek teknolojlili sürücüsüz metro araçlarının M4 CAF1 metro araçlarına göre bakım yapılabilirlik açısından daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni teknolojik gelişmelerin etkisiyle çalışılan araç tasarımları ve LRU (Line Replaceable Unit) politikası ile yapılan bakımların etkisidir.

RAMS parametrelerinden güvenlikle ilgili kısım bütün projelerde üzerinde en çok tartışılan ve zaman harcanan süreçlerden biridir. Özellikle sürücüsüz metrolar için güvenlik olgusu sık sık gündeme gelmektedir. Projelerde İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi) araç üreticileri ve işletmeci firma olan Metro İstanbul güvenlik üzerine çeşitli çalışmalar ve risk analizleri yaparlar. Risk analizlerinde olası bir kaza, ihmal ya da aksaklık durumunda sistemin insana, çevreye ve sistemin kendisine verebileceği riskler ortaya konulur. Ortaya konulan riskler şiddetleri, frekansları gibi bir takım özellikleri kullanılarak farklı metotlarla risk matrisleri oluşturulur. Risk matrislerinde kabul edilemez riskler kesinlikle elimine edilir. İstenmeyen riskler ise teknik altyapının izin verdiği ölçüde giderilir. Kabul edilmesi için araç üreticisi ile idare arasında anlaşmaya varılır. İnsana, çevreye ve sisteme zararı yok denecek kadar az olan riskler ise anlaşmasız kabul edilebilir.

4. SONUÇ

Metro İstanbul tarafından işletmesi yapılan T1 Kabataş Bağcılar, T4 Topkapı Habibler, T5 Eminönü Alibeyköy, M1 Yenikapı Kirazlı Atatürk Havalimanı, M2 Yenikapı Hacıosman, M3 Kirazlı Başakşehir Metrokent, M4 Kadıköy Tavşantepe ve M5 Üsküdar Çekmeköy hatlarına ait raylı sistem araçlarının ağırlıklı olarak 2019 yılı olmak üzere 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait bakım maliyetleri ve RAMS verileri incelenmiştir. Yapılan incelemelerde bakım maliyetleri ile RAMS performansları arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. RAMS ile bakım maliyetleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamasının çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Bunların başında önleyici bakımlar hem maliyetleri hem de RAMS performanslarını arttırırken düzeltici bakımlar yalnızca maliyetleri arttırmaktadır. Bakım ekipleri önleyici bakımlarda kritik ekipmanlara ait komponentlerde pahalı parça değişimleri yapabilirken kritik olmayan ekipmanlarda kaynakların verimli kullanılması açısından parça değişimine gerek duymazlar. Bu da RAMS performansları ile maliyetler arasındaki ilişkiyi anlamsızlaştırır. RAMS ile maliyetler arasındaki ilişkiyi anlamsızlaştıran başka bir durum ise pahalı ekipmanlar ve bileşenlerdir. Bu komponentlerde meydana gelen az sayıdaki arızalar maliyetleri çok fazla arttırabilmektedir. Bunların yanında araçlardaki iyileştirici revizyonlar, çevresel etmenler, ray ve hat geometrisi, aracın enerji beslemesi, önleyici bakım periyotları, mevsimsel koşullar, yolcu sayısına bağlı araçlara düşen ağırlık bakım maliyetleri ile RAMS performanslarını etkileyen diğer faktörlerdir.

Çalışma kapsamında tramvay, metro ve hafif metro raylı sistem araç tiplerinin bakım maliyetlerine ve RAMS güvenilirliğine etkisi incelenerek analiz edilmiştir. İncelemelerde tramvay araçlarından ATA1, BTA1, İTA1 ve KTA araçlarına hafif metro araçlarından RHM1 ve ABB araçlarına metro araçlarından ise RMT1, RMT2, CMT1, CMT2, AMT1 ve AMT2 araçlarına ait bakım maliyetleri ile RAMS performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda metrolara ait RAMS performans verilerinin hafif metro ve tramvaylara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine metro araçlarının araç başına düşen bakım masraflarının daha düşük olduğu görülmektedir. Hafif metro araçlarının bakım maliyetleri ve RAMS performansları da tramvay araçlarına yakın değerlerdedir. Bakım maliyetleri tramvay araçlarının altında RAMS performansları ise tramvay araçlarının üstündedir.

KTA1-İTA1 araçlarının karşılaştırılmasında görüldüğü üzere araçlarda bulunan sistem ve ekipman sayısının az olması MDBF performansının yüksek gözükmesine neden olabilir. Ancak bu durum

araçların MDBSF performansı üzerinde pek etkili değildir. Bunun nedeni cer sistemi, fren sistemi gibi kritik sistemlerin ve ekipmanların her iki araçta da bulunmasıdır.

Araç yaşlarının RAMS performanslarına etkisi incelenmiştir. İncelemeler neticesinde araçların ilk devreye alındığı dönemlerde RAMS performanslarının düşük olduğu, yapılan iyileştirme ve revizyon çalışmalarıyla performanslarında hızlı bir artış olduğu görülmüştür. Yine benzer şekilde 30 yıl işletme ömrünü doldurmaya yakın araçların RAMS performanslarının yavaşça düştüğü gözlemlenmektedir. Ancak profesyonel bakım faaliyetleri bu düşüşü yavaşlatmaktadır.

Araç teknolojilerinin RAMS performanslarına etkisini incelemek için M5 CMT2 sürücüsüz metro aracı ve M4 CMT1 metro aracı verileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda CMT1 araçlarının performanslarının sürücüsüz CMT2 araçlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. CMT2 araçları Türkiye’de kullanılan ilk sürücüsüz metro hattı olması ve fazla bir geçmişi bulunmaması nedeniyle kesin ifadeler kullanılması için daha çok zamana ve veriye ihtiyaç vardır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada kullanılan verilerin temini için Metro İstanbul A.Ş.’ye teşekkürlerini sunar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Anonim, DIN 31051 (2012). Fundamentals of maintenance, *German Institute for Standardisation*, Berlin.

Anonim, (2016). T5 Eminönü Alibeyköy yapım işi ve araç alım işi teknik şartnamesi. T5 Eminönü Alibeyköy hat inşaat, elektromekanik ve araç alım işi teknik şartnamesi. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi*, İstanbul.

Anonim, EN 13306 (2017). European Norm. Maintenance terminology. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5af77559-ca38-483a-9310-823e8c517ee7/en-13306-2017> adresinden 20 Temmuz 2022 tarihinde alınmıştır.

Kadıoğlu, T. (2020). *Raylı sistem araçlarında Rams Verilerini ve tekniklerini kullanarak, araç performansını, bakım ve arıza giderlerini iyileştirmek, izleme yöntemiyle bakım*. [Yüksek lisans tezi], İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Kapurch, S. (2010). NASA systems engineering handbook. *DIANE Publishing*. UK.

Stapelberg, R. F. (2009). Handbook Of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design. *Springer*. Almanya.

- Toparlı, F. (2021). *Kabataş-Bağcılar tramvay hattı araç gürültü ölçümleri ve değerlendirmesi*. [Yüksek lisans tezi], İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Zhou, G. R. (2020). Modeling and application of risk assessment considering veto factors using fuzzy petri nets. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*.67, 1,11.



EXPENDITURE ANALYSIS OF PLANNED SPECIAL EVENT PARTICIPANTS: BINARY LOGIT MODEL

PLANLANAN ÖZEL ETKİNLİK KATILIMCILARININ HARCAMA ANALİZİ: İKİLİ LOGİT MODELİ

Mahmut Esad ERGİN¹

Vail KARAKALE²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1130438>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
meergin@ticaret.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
14.06.2022

Accepted / Kabul Tarihi
17.10.2022

Abstract

Planned special event (PSE) increases the travel demand and derives interim activities that individuals spend their time and money. In this study, it is aimed to determine the factors affecting the money expenditures of PSE participants in interim activities that they participated before the special event by using the Binary Logit Model. A face-to-face survey study started in December 2018 and ended in May 2019, and football is selected as the PSE. As a result, 357 valid questionnaires were obtained before 6 league games and included in the modeling study. This study showed that PSE participation is not the same with daily routine activity participation for example age, income level, frequency of participation in games are not statistically significant. However, when fans come to the games with someone, they gather at locations within walking distance of PSE venues and attend an event where they spend money.

Keywords: Binary logit model, money expenditure, planned special events, survey study, travel behavior.

Öz

Planlı özel etkinlikler (PÖE), seyahat talebini geçici olarak artırmakla birlikte katılımcıların hem zaman hem de para harcadıkları yeni aktiviteler de üretmektedir. Bu çalışmada, PÖE katılımcılarının özel etkinlik öncesi katıldıkları ara (türetilmiş) etkinliklerdeki para harcamalarını etkileyen faktörlerin İkili Logit Model kullanılarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Aralık 2018'de başlayan ve Mayıs 2019'da sona eren yüz yüze olarak gerçekleştirilen anket çalışması sonucunda 6 lig maçı öncesi 357 geçerli anket elde edilmiş ve modelleme çalışmasına dahil edilmiştir. Bu çalışma, PÖE katılımının günlük rutin aktivite katılımı ile farklı olduğunu, örneğin yaş, gelir düzeyi, oyunlara katılım sıklığı gibi önemli değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermiştir. Model sonucuna göre bireyler ticaret-yoğun yerleri tercih etmekte, özellikle bu gibi etkinliklere yalnız gelmediği takdirde daha fazla para harcama eğilimi göstermektedir. Katılımcıların toplandıkları alanlar stadyumun en yakın noktaları değil ancak yürüme mesafesindeki diğer alanlar olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anket çalışması, harcama analizi, ikili logit model, planlı özel etkinlikler, yolcu davranışı.

¹Istanbul Commerce University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, İstanbul, Türkiye.
meergin@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-1038-3530.

²Istanbul Medeniyet University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, İstanbul, Türkiye.
vail.karakale@medeniyet.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3799-8439.

1. INTRODUCTION

Planned special events (PSE) are those that occur at a known location at a defined time and generate a significant quantity of travel demand. PSEs usually draw individuals from all over the world, with a variety of cultures and backgrounds, into the host community, where they may engage with other communities and cultures (Cook et al., 2010). As a result of increases in travel demand or losses in the capacity of road segments, PSE has an influence on the transportation network with its known location and scheduled time (Latoski et al., 2003) such as concerts, rallies, sports competitions, etc. The main purpose of participating to an event is to be satisfied, to increase their quality of life, and run away from the daily stress (Ergin, 2021).

PSEs have both positive and negative effects. The primary of its negative effects is its effect on the transportation network. Due to the transportation demand it creates, it causes traffic congestions due to the fact that many participants are attracted to a certain area and many people leave the venue at the same time after the event. In USA, PSE related travel delays account for 93 to 187 million lost hours annually and the cost of congestion is estimated to be between \$1.7 and \$3.4 billion (Skolnik et al., 2008). Environmental effects such as gas and noise emissions caused by traffic jams should not be ignored. However, a well-managed PSE can also deliver huge economic and fiscal gains without harming the environment. Mobility relates to the ease with which one can go about, whereas dependability refers to the consistency with which one can move. In addition, mobility and travel time reliability are strongly connected to the number of participants, pace of event arrival and departure, venue location, and highway capacity (Ergin, 2021).

PSE increases the travel demand (Ergin & Tezcan, 2022) and derives interim activities that individuals spend their time and money. Moreover, individuals prefer to arrive the vicinity of the venues some time before the main event starts. PSE participants usually arrive a few minutes before the event begins (Leilei et al., 2012). However, according to Ergin and Tezcan (2022), it was discovered that on average, supporters arrive at the stadium 188 minutes before the game begins. Individuals generally spend their time in order to wait the starting time of the main event. On the other hand, individuals often afford to pay a ticket fee to attend the PSE. In addition, participants tend to spend money due to basic needs or personal demands before, during and after the event. Kwiatkowski (2016) divides the money flow into two categories that comes from local and non-locals in his study. It is not the case that each individual participating in the PSE will spend or choose an activity to spend their money. In this study, it is aimed to determine the factors affecting the money expenditures of PSE participants in interim activities that they participated before the special event by using the Binary Logit Model. In the next stage of the study, the Binary Logit Model is briefly mentioned, and then survey methodology and the study area is described. In the 4th part of the study, the data is introduced and its analysis is presented. In the continuation, the model results are given in detail, and finally, evaluation and recommendations are presented under the conclusion part. In addition, football is chosen as PSE in this study.

2.MODELING METHOD: BINARY LOGIT MODEL

When there are two options in the choice set, the binary logit model is utilized. The binomial logit model is the most often used probabilistic decision model between two choices (Ergin, 2021). In this study, Binary Logit Model is used due to mathematical simplicity of the approach. Logit models are based on the notion of random utility. The user selects a setting that maximizes her or his usefulness. The utility is derived from the definition of the options and/or the persons'

socio-economic characteristics (Lancaster, 1966). The utility function is a function that defines the utility of persons. This function is often a linear function with the Equation 1:

$$U = V + \varepsilon \quad (1)$$

where U stands for utility, V for the deterministic component, which reflects observable factors like age, trip duration, travel cost, income, and so on, and the ε represents the model's error. The error has an influence on the user's utility and contains unobservable characteristics.

The probability that alternative 1 will be chosen in binary logit model, where the preference set consists of alternatives 1 and 2, is computed using the Equation 2:

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} \quad (2)$$

where P_1 is the probability that an individual would select alternative 1, e^{V_i} denotes the exponential function, and V_1 and V_2 are the deterministic components of alternative 1 and 2, respectively (Horowitz et al., 1986). The sum of probabilities of both alternatives equals to 1.

Binary logit model has been used in many transportation preference model studies. For example, a binary logistic model was used by Abuhamoud et al. (2011) to investigate the factors impacting auto/government bus use and estimate the likelihood of switching from a private car to a government bus. On the other hand, the mode splits for cereal grains movement by truck and rail in the United States are estimated using a binary logit model developed by Shen and Wang (2012). Moreover, Ergin and Tezcan (2021) also used binary logit model in order to analyze perception of public transport users in terms of the willingness to pay for safety, crowdedness, stress, and fatigue factors. As a result of comparison between binary logit model and linear regression model, it is revealed that the logit model excels the linear regression model in terms of average absolute percentage changes.

3. STUDY AREA

According to TurkStat (2022), population of Istanbul is 15,840,900 in 2021. In addition to its great population, Istanbul attracts a large number of domestic and foreign tourists due to its historical and cultural heritage and strength economy. The transport system of the city serves around 20 million people daily. Besiktas is one of the most preferred districts of Istanbul for daily activities with its location and dense commercial areas. As a result of being dense commercial area, accessibility of the study area is also strong. Vodafone Park Stadium, which is located in Besiktas and is the subject of the study, is located here. There are 2 ferry piers, tram line, metro line and many bus stops within walking distance of the stadium. It also has a very strong connection to the main arteries by road. All in all, Besiktas and stadium is strongly connected to the transportation system (Figure 1).

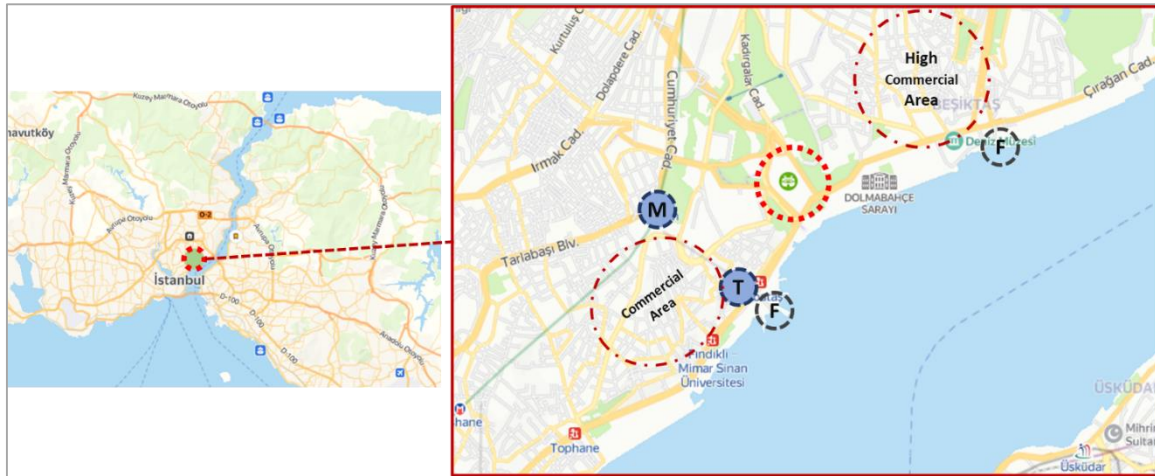


Figure 1. Besiktas Vodafone Park Stadium Location

Vodafone Park Stadium is used by Besiktas Football Club (BJK) which is one of the most popular football teams in Türkiye in terms of the number of the fans and historically based on league success in Türkiye. Moreover, the residential population of Besiktas is 178,938 (TurkStat, 2022).

4. SURVEY ANALYSIS AND DATA

The transportation and money expenditure behaviors of the fans during football games were tried to be analyzed with a survey study. The study started in December 2018 and ended in May 2019. In this context, the socio-economic characteristics of the fans, their interest in football games, the frequency of participation in football games, the fandom degree, the type of activities they participated in before-during-after PSE, activity durations, activity costs, transportation mode choices, travel time and costs, etc. They were asked about all their activities in the day of the participation to the PSE. The questionnaires were conducted with the spectators entering the stadium who arrived at the immediate vicinity of the venue and surveys were started approximately 3 hours before the game starts. Some road connections are closed when there is a PSE in the stadium, and in others the lanes are narrowed to provide safe walking and waiting space for participants. The surveys were conducted face-to-face where the participants waited for the starting time of the PSE in the safe area, and the selected places of the survey points were close to the gates in order to catch all kinds of participants. Face-to-face surveys took an average of 8 minutes. In order to avoid biases or inaccuracies in the data obtained, only ordinary league games held once every two weeks were included in the study, but derby, Turkish Cup and European Cup games were excluded in the study. In the survey study, the behaviors of people who live far away from walking distance rather than local participants were examined. For this reason, the factors affecting the pre-PSE expenditures of the spectators who travel with motor vehicles are emphasized. In this context, 357 valid questionnaires were obtained before 6 league games and included in the modeling study. The descriptive statistics of the surveys are given in Table 1.

Table 1. Descriptive Statistics of The Surveys

Criteria (N=357)	Categories	N	Percentage	Criteria (N=357)	Categories	N	Percentage
Age groups	0-24	82	23%	Ticket cost	0-90	124	35%
	25-30	87	24%		91-149	118	33%
	31-37	95	27%		150 +	115	32%
	38+	93	26%	Seasonal ticket	No	251	70%
Gender	Woman	21	6%		Yes	106	30%
	Man	336	94%	How often do you participate in games in a year?	0 - 4	124	35%
Residential status	Out-of-town	70	20%		5 - 8	88	25%
	Istanbul	287	80%		9 - 13	41	11%
Income groups	0-3000	141	39%		14 +	104	29%
	3001-5000	103	29%	Mode choice	Bus	87	24%
	5000+	113	32%		Ferry	110	31%
Private car ownership	No	188	53%		Private Vehicle	81	23%
	Yes	169	47%		Rail	79	22%
Companion	Alone	81	23%	Destination	High density commercial area	175	49%
	With someone	276	77%		Low density commercial area	126	35%
					ctadium	56	16%

According to the survey conducted for Besiktas and the details of which are given in the Table 1, the average age of the participants is 32.18. Also, 6% of the participants are women, and 20% of the spectators, including those coming from abroad, attend the PSEs from out-of-Istanbul. The average income level is around 4,183 Turkish Liras (TRY) (according to 2019). While 47% of the participants own a private vehicle, approximately 77% of the participants attend the event with at least one friend or acquaintance. Of course, as a result of being out of scope of this study, the social network of the participants was neglected. The average ticket price is 127 TRY and 30% of the attendees have seasonal tickets. While 29% of the fans participated in all the games, 35% stated that they participated in one time or only a few games (less than 5 in a year). Accessibility of the stadium or the surrounding area is very easy by public transport. For this reason, there is a balanced distribution among the modes of transport. The most preferred mode was Ferry with 31%. As expected, people prefer high density commercial areas as the destination of their motorized trips. Since there is no sufficient commercial use in the immediate vicinity of the stadium, the preference rate of the stadium as destination by fans is at the level of 16%.

5. MODEL RESULTS

Effect coding is used for the proposed Binary Logit Model and some of the continuous variables are categorized according to percentiles such as income, participation the games in a year and destination choice (Table 2). Age, ticket cost and selected transportation modes were also categorized and included into the model, however, since there was no improvement in the model, they were removed from the model and included continuously. The reference variable category is selected with regard to lowest observed one. Other variables are also effect coded.

Table 2. Categorization and Coding of The Selected Variables

Variable	Classification	No. of obs.	Abbreviation	BASE
Income Groups	0-3000	141	linc	
	3001-5000	103	minc	BASE
	5000+	113	hinc	
Destination	High Density Commercial Area	175	hcom	
	Low Density Commercial Area	126	lcom	
	Stadium	56	scom	BASE
Participation	0-4	124	part1	
	5-9	88	part2	
	10-14	41	part3	BASE
	14+	104	part4	

The other variables used in the model are transportation modes, private car ownership, day of the week, gender, residential status, having a companion, having seasonal ticket, last activity duration which is used as continuous, and classified destinations in terms of number of commercial units in the destination zone. The variables used in the proposed model are explained in the Table 3:

Table 3. Coding of The Non-Categorized Variables

Variable	Explanation	Coding
ww	“with whom” represents whether a companion is there or not,	Alone: -1, Having a companion: 1
lad	Last activity duration (minutes)	Continuous
pt	Public transport	If pt is chosen: 1, if not: -1
st	Seasonal ticket	If the individual has seasonal ticket: 1, if not: -1
age	Age	Continuous
gen	Gender	Female: -1, Male: 1
ticket	Ticket cost	Continuous

Moreover, Apollo package developed by Hess and Palma (2019) in R software was used in the modelling.

Utility function of the money expenditure binary logit model is given below:

$$\begin{aligned}
 U_{NON} = & ASC_{NON} + ww_{NON} \times ww_{NON} + lad_{NON} \times lad_{NON} + hcom_{NON} \times hcom_{NON} \\
 & + lcom_{NON} \times lcom_{NON} + pt_{NON} \times pt_{NON} + st_{NON} \times st_{NON} + age_{NON} \\
 & \times age_{NON} + part1_{NON} \times part1_{NON} + part2_{NON} \times part2_{NON} + part4_{NON} \\
 & \times part4_{NON} + gen_{NON} \times gen_{NON} + ticket_{NON} \times ticket_{NON} + linc_{NON} \\
 & \times linc_{NON} + hinc_{NON} \times hinc_{NON}
 \end{aligned}$$

$$U_{MONEY} = ASC_{MONEY}$$

The adjusted Rho-square of 0.3949 does not present any problems in the overall goodness-of-fit. It means that the variables used in the model are effective in the monetary expenditures of individuals in their PSE participation (Table 4).

Table 4. Model Results

	LL(start)	-247.45	
	LL(final)	-134.28	
	Rho-square (C)	0.4557	
	Adj.Rho-square (C)	0.3949	
	AIC	298.56	
	BIC	356.72	
Variables	Estimate	Std.err.	t-ratio(0)
ASC_{NON}	1.7375***	0.8153	2.1312
<i>ASC_{MONEY}</i>	0.0000	NA	NA
<i>pt_{NON}</i>	0.3305	0.2376	1.3909
<i>gen_{NON}</i>	-0.2089	0.3410	-0.6126
ww_{NON}	-0.3929*	0.2078	-1.8903
<i>st_{NON}</i>	0.2433	0.2444	0.9954
lad_{NON}	-0.0246***	0.0029	-8.4878
hcom_{NON}	-1.2863***	0.2413	-5.3301
<i>lcom_{NON}</i>	0.3816	0.2800	1.3626
<i>part1_{NON}</i>	0.1493	0.2814	0.5307
<i>part2_{NON}</i>	0.1899	0.2975	0.6384
<i>part4_{NON}</i>	-0.2325	0.3438	-0.6762
<i>ticket_{NON}</i>	0.0015	0.0018	0.8152
<i>age_{NON}</i>	0.0139	0.0194	0.7155
<i>linc_{NON}</i>	0.1484	0.2486	0.5970
<i>hinc_{NON}</i>	-0.2069	0.2637	-0.7849
***, **, * ==> Significant at 1%, 5%, 10% level.			

The ASC_{NON} variable is statistically significant at 99% confidence interval. Using public transport, gender, having seasonal ticket, number of participation in a year, ticket price, age, and income level are not statistically significant. Only, attending with a companion, activity duration and the dense commercial destination are statistically significant at 10%, 99% and 99% respectively. Since the sign of the coefficient of ww is negative, spectators tend not to spend their money if they participate the PSE alone. Furthermore, as the last activity duration increases, they tend to choose saving their money which means spectators spend their time by attending the activities that do not require money for instance waiting. In other words, people who spend money on the activity tend to spend less time at the place where they attend the activity. Even other variables are not statistically significant, the signs of the coefficients are expected. On the other hand, they contribute the overall goodness-of-fit and increases the power of the model.

6. CONCLUSIONS

PSE activities should not be confused with daily and ordinary activities and should be considered separately. As seen in this study, it is very difficult to predict the behaviour of the spectators, especially in sports where the degree of fanaticism is high, such as football. For example, this study showed that age, income level, frequency of participation in games are not statistically significant. However, when fans come to the games with someone, they gather at locations within walking distance of PSE venues and attend an event where they spend money. For the further studies, accessibility of the venues might be included into modelling process as accessibility increases, commercial activity rises and no one is inclined to prefer a place that is hard to reach. For example, Ercan and Tuncer (2020) investigated one of the district of Istanbul,

Beylikduzu, and in general individuals, especially disabled people are not satisfied with the transportation network quality. The same situation should also be examined for Besiktas, as well.

All in all, in a PSE organization, local government and organizers should not only manage the traffic and trade demand in the stadium and the immediate vicinity of the stadium, but also the traffic and trade demand in the dense-commercial areas within walking distance of the PSE venue and analyse the economic impact of the PSEs in this broad framework.

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

- Abuhamoud, M.A.A., Rahmat, A.R.O.K. & Ismail, A. (2011). Modeling of transport mode in Libya: A binary logit model for government transportation encouragement, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5), 1291-1296.
- Cook, R. A., Yale, L. J. & Marqua, J. J. (2010). *Tourism: The business of travel*, pearson education limited. *Pearson Prentice Hall*. United Kingdom.
- Ercan, F. Z. & Toprak, T. (2020). Beylikdüzü İlçesi'nin erişilebilirlik açısından incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19 (37), 23-34.
- Ergin, M.E. & Tezcan, H. (2022). Joint logit model approach to analyze soccer spectators' arrival time and location preferences for interim activities in Istanbul. *International Journal of Engineering*, 35(4), 613-625. <http://doi:10.5829/ije.2022.35.04A.01>
- Ergin, M.E. (2021). *Modelling travel demand for planned special events: A study for Istanbul*, [Ph.D. thesis], Istanbul Technical University, Istanbul.
- Ergin, M.E. & Tezcan, H. (2021). Investigation of the Istanbul public transportation system perception with the logit model within the framework of revealed and stated preferences. *Istanbul Commerce University Journal of Science*, 20(39), 96-111.
- Hess, S. & Palma, D. (2019). Apollo: a flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application. *Journal of Choice Modelling*, 32. <http://doi:10.1016/j.jocm.2019.100170>
- Horowitz, J. L., Koppelman, F. S. & Lerman, S. R. (1986). A self – instructing course in disaggregate mode choice modelling. (Report no: IA-11-0006.) *University of Iowa*, Iowa City, USA.

- Kwiatkowski, G. (2016). Economic impact of event attendees' Spending on a host region: A review of the research, *Event Management*, 20, 501–515. <http://dx.doi.org/10.3727/152599516X14745497664398>
- Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 14(2), 132-57.
- Latoski, S.P., Dunn, W.M., Wagenblast, B., Randall, J. & Walker, M.D. (2003). Managing travel for planned special events, *Department of Transportation*, Washington D.C, USA.
- Leilei, D., Zheng-liang, S., Jin-gang, G. & Hong-tong, Q. (2012). Study on traffic organization and management strategies for large special events, in 2012 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), *IEEE.*, 432-436.
- Shen, G. & Wang, J. (2012). A freight mode choice analysis using a binary logit model and GIS: The case of cereal grains transportation in the United States. *Journal of Transportation Technologies*, 2, 175-188. <http://doi:10.4236/jtts.2012.22019>
- Skolnik, J., Chami, R., & Walker, M. (2008). Planned special events – economic role and congestion effects, FHWA Office of Operations. Report No: FHWA-HOP-08-022. (Accessed on 10 June 2022).
- TurkStat, (2022). Retrieved June 10, 2020 from <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=population&dil=2>.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

ULUSAL BİLGİ VE İLETİŞİM GÜVENLİĞİ REHBERİ: İoT GÜVENLİĞİ İÇİN BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ*

NATIONAL INFORMATION AND COMMUNICATION SECURITY GUIDE:
AN APPLICATION EXAMPLE FOR İoT SECURITY

Muttalip TULGAR¹

Abdül Halim ZAIM²

Muhammed Ali AYDIN³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1141795>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
muttalip.tulgar@istanbulticaret.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
07.07.2022

Kabul Tarihi / Accepted
12.08.2022

Öz

Kamu kurumları ve kritik altyapı hizmeti veren işletmelerce uyulması gereken bilgi güvenliği tedbirlerini içeren Ulusal Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi, ülkemize özgü ilk referans doküman olma niteliği taşımaktadır. Rehber, bilgi ve iletişim güvenliği alanındaki büyük bir boşluğu doldurmakla birlikte, kurumların siber saldırılara karşı dayanıklılığını artırmada da önemli bir özelliğe sahiptir. Bu çalışmada, Rehber'in genel yapısı incelenerek rehber uygulama süreçleri hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca Rehber kapsamında ele alınan ve ana başlıklardan biri olan Nesnelere İnterneti (İoT) güvenliğine yönelik siber güvenlik saldırıları ve zafiyetlerine değinilmiştir. Bu çalışmada simülasyon ortamında temsili bir kurumsal yapının ağ topolojisi oluşturularak rehberdeki İoT güvenliği denetimlerinin nasıl yapılacağı gösterilmektedir. Güvenlik denetimleri ile temsili kurumun rehberde yer alan İoT güvenliğine yönelik tedbirlere uyumunun sağlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bilgi güvenliği, bilgi ve iletişim güvenliği rehberi, güvenlik denetimi, İoT, nesnelere interneti, siber güvenlik.

Abstract

In this study, a questionnaire study conducted to organizations that The National Information and Communication Security Guide, which includes information security measures to be followed by the public institutions and the operators providing critical infrastructure services, is the first reference document specific to our country. Along with filling a big gap in the field of information and communication security, the guide also has an important feature in increasing the resilience of institutions against cyber attacks. In this study, the general structure of the guide is examined and information about the guideline implementation processes is given. In addition, cyber security attacks and vulnerabilities for Internet of Things (İoT) security, which is one of the main topics covered in the guide, are mentioned. In this study, it is shown how to perform the İoT security audits in the guide by creating the network topology of a representative corporate structure in the simulation environment. With security audits, it is aimed to ensure the compliance of the representative institution with the measures for İoT security in the guide.

Keywords: Cyber security, information security, information and communication security guide, internet of things, İoT, security audit.

*Bu yayın Muttalip TULGAR isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
muttalip.tulgar@tubitak.gov.tr, Orcid.org/0000-0001-9151-474.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
azaim@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0233-064X.

³İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye
aydinali@istanbul.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-1846-6090.

1.GİRİŞ

Bu çalışmada, ülkemize özgü olarak hazırlanmış ve bilgi güvenliği tedbirleri konusunda referans teşkil edebilecek ilk doküman olma özelliği taşıyan Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nin genel yapısı ve içeriği hakkında bilgi verilerek Rehber uygulama süreçlerinin her bir adımına dair açıklamalarda bulunulmuştur. Rehber'de birçok ana başlık ve çok fazla güvenlik tedbiri olduğu için çalışma kapsamında daraltmaya gidilmiş sadece Rehber'deki ana başlıklardan biri olan Nesnelerin İnterneti (IoT) güvenliğine yönelik siber güvenlik tedbirleri ele alınmıştır. Bu çalışmanın diğer bir amacı da IoT ortamlarının güvenliğinin nasıl sağlanabileceğine dair bir uygulama platformu oluşturmaktır. Özellikle IoT sistemleri için test ortamı oluşturmanın zorluğu ve herhangi bir kurumun aktif çalışan IoT ortamında güvenlik denetimi yapmasının yüksek risk barındırması nedeniyle simülasyon ortamına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada da Cisco Packet Tracer yazılımı kullanılarak simülasyon ortamı oluşturulmuş ve temsili bir kurumsal yapının Rehber ile uyumlu olup olmadığı IoT güvenliği özelinde gösterilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür taramalarında, Ulusal Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'ne yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Rehber'e yönelik tek atıf, Ağdeniz (2021) tarafından yapılmış olup yazar çalışmada kamu iç denetçilerinin yılda en az bir kez Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi kapsamında denetim yapma zorunluluğundan bahsetmiştir.

Zeybek & Yılmaz (2019) yaptıkları çalışmada, iç denetçilerin IoT cihazlarının çeşitliliği ve yapısal zorlukları nedeniyle doğru güvenlik yaklaşımları, risk yönetimi ve genel bir denetim metodolojisi belirleyerek kurum güvenlik kültürüne değer katabileceklerini vurgulamışlardır.

Kaymas (2020), Türkiye'de nesnelerin interneti ekosisteminin gelişmesi için kamusal politikaların yeniden gözden geçirilmesini ve başta üniversite ve araştırma merkezleri olmak üzere ulusal inovasyon ağının kurulması gerektiğini önermiştir.

Ülker ve ark. (2017), IoT sistemlerinin birçok kamu kurumunda kullanıldığını, bu sistemlerin de diğer bilişim teknolojilerinde kullanılan bileşenler gibi siber saldırılara maruz kalarak ulusal bilgi güvenliğini tehdit ettiğini, bu nedenle IoT güvenliğine özgü güvenlik politikalarının uygulanması gerektiğini vurgulamıştır.

Avcı (2022), çalışmada akıllı evlerde kullanılan IoT teknolojileri ve IoT güvenlik katmanlarını incelemiş, IoT sistemlerinde en çok yaşanan 10 güvenlik sorununa değinmiştir. Yazar, IoT güvenliğinin sağlanabilmesinin ancak bütüncül bir güvenlik anlayışı ile mümkün olabileceğine bu nedenle sistemin tüm bileşenlerinin güvenlik risklerinin iyi analiz edilmesinin önemine değinmiştir.

Thera (2020) tez çalışmada öğrencilerin IoT ağlarını daha iyi anlaması ve rahatlıkla bir IoT ortamı oluşturabilmesi için akıllı ev ortamını Cisco Packet Tracer ile oluşturmuştur.

Özdoğan & Daş (2021), Cisco Packet Tracer simülasyon ortamında akıllı ev otomasyon sistem tasarımı için 3 farklı senaryo geliştirmiş ve farklı senaryolara göre araçların kullanımını örneklerle göstermişlerdir.

3. ULUSAL BİLGİ VE İLETİŞİM GÜVENLİĞİ REHBERİ

Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nin adı, ilk kez 06.07.2019 tarih ve 30823 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 2019/12 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi'nde yer almıştır. T.C. Dijital Dönüşüm Ofisi Başkanlığı tarafından Temmuz 2020 yılında yayımlanan Rehber, bilgi işlem birimi bulunan veya bilgi işlem hizmetlerini üçüncü taraflardan alan kamu kurumları ile kritik altyapı niteliğinde faaliyet gösteren işletmelerin uyması gereken güvenlik tedbirlerinden bahsetmektedir (DDO, 2020).

3.1. Rehber İçeriği

Rehber; 229 sayfa, 661 güvenlik tedbiri ve 4 temel bölümden oluşmaktadır:

- Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi Uygulama Süreci: Bilgi güvenliği yönetim süreçlerinin Rehber özelinde uygulandığı ve güvenlik tedbirlerinin yerine getirilmesinde uygulanacak yöntemlerin bahsedildiği bölümdür.
- Varlık Gruplarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri: Rehber'de tanımlanan varlık grubu ana başlıklarına yönelik güvenlik tedbirlerinin yer aldığı bölümdür. Tablo 1.'de varlık gruplarına yönelik güvenlik tedbirleri alt başlıkları görülmektedir. Bu alt başlıklara yönelik toplam 416 güvenlik tedbiri bulunmaktadır.

Tablo 1. Varlık gruplarına yönelik güvenlik tedbirleri alt başlıkları

Ağ ve Sistem Güvenliği
Donanım Varlıklarının Envanter Yönetimi
Yazılım Varlıklarının Envanter Yönetimi
Tehdit ve Zafiyet Yönetimi
E-Posta Sunucusu ve İstemcisi Güvenliği
Zararlı Yazılımlardan Korunma
Ağ Güvenliği
Veri Sızıntısı Önleme
İz ve Denetim Kayıtlarının Tutulması ve İzlenmesi
Sanallaştırma Güvenliği
Siber Güvenlik Olay Yönetimi
Sızma Testleri ve Güvenlik Denetimleri
Kimlik Doğrulama ve Erişim Yönetimi
Felaket Kurtarma ve İş Sürekliliği Yönetimi
Uzaktan Çalışma
Uygulama ve Veri Güvenliği
Kimlik Doğrulama
Oturum Yönetimi
Yetkilendirme
Dosyaların ve Kaynakların Güvenliği
Güvenli Kurulum ve Yapılandırma
Güvenli Yazılım Geliştirme
Veri Tabanı ve Kayıt Yönetimi
Hata Ele Alma ve Kayıt Yönetimi
İletişim Güvenliği
Kötücül İşlemleri Engelleme
Dış Sistem Entegrasyonlarının Güvenliği

Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği
Akıllı Telefon ve Tablet Güvenliği
Taşınabilir Bilgisayar Güvenliği
Taşınabilir Ortam Güvenliği (CD/DVD, Taşınabilir Bellek Ortamları)
Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazlarının Güvenliği
Ağ Servisleri ve İletişimi
Dâhili Veri Depolama
Kimlik Doğrulama ve Yetkilendirme
API ve Bağlantı Güvenliği
Diğer Güvenlik Tedbirler
Personel Güvenliği
Genel Güvenlik Tedbirleri
Eğitim ve Farkındalık Faaliyetleri
Tedarikçi İlişkileri Güvenliği
Fiziksel Mekânların Güvenliği
Genel Güvenlik Tedbirleri
Sistem Odası/Veri Merkezine Yönelik Güvenlik Tedbirleri
Elektromanyetik Bilgi Kaçaklarından Korunma Yöntemleri (TEMPEST)

- Uygulama ve Teknoloji Alanlarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri: Bu bölümde Tablo 2.'de gösterilen varlık gruplarındaki ana başlıklar için uygulanması düşünülen, uygulama ve teknoloji alanlarına yönelik 146 tedbir maddesi bulunmaktadır.

Tablo 2. Uygulama ve teknoloji alanlarına yönelik güvenlik tedbirleri alt başlıkları

Kişisel Verilerin Güvenliği
Kayıt Yönetimi
Erişim Kayıtları Yönetimi
Yetkilendirme
Şifreleme
Yedekleme, Silme, Yok Etme ve Anonim Hale Getirme
Aydınlatma Yönetimi
Açık Rıza Yönetimi
Kişisel Veri Yönetim Sürecinin İşletilmesi
Anlık Mesajlaşma Güvenliği
Genel Güvenlik Tedbirleri
Bulut Bilişim Güvenliği
Genel Güvenlik Tedbirleri
Kripto Uygulamaları Güvenliği
Kriptografik Algoritmalar ve Kullanımı
Şifreleme ve Anahtar Yönetimi
Kriptografik Uygulamalar
Kritik Altyapılar Güvenliği
Genel Güvenlik Tedbirleri
Enerji Sektörü Özelinde Güvenlik Tedbirleri
Elektronik Haberleşme Sektörü Özelinde Güvenlik Tedbirleri
Yeni Geliştirmeler ve Tedarik Genel Güvenlik Tedbirleri
Genel Güvenlik Tedbirler

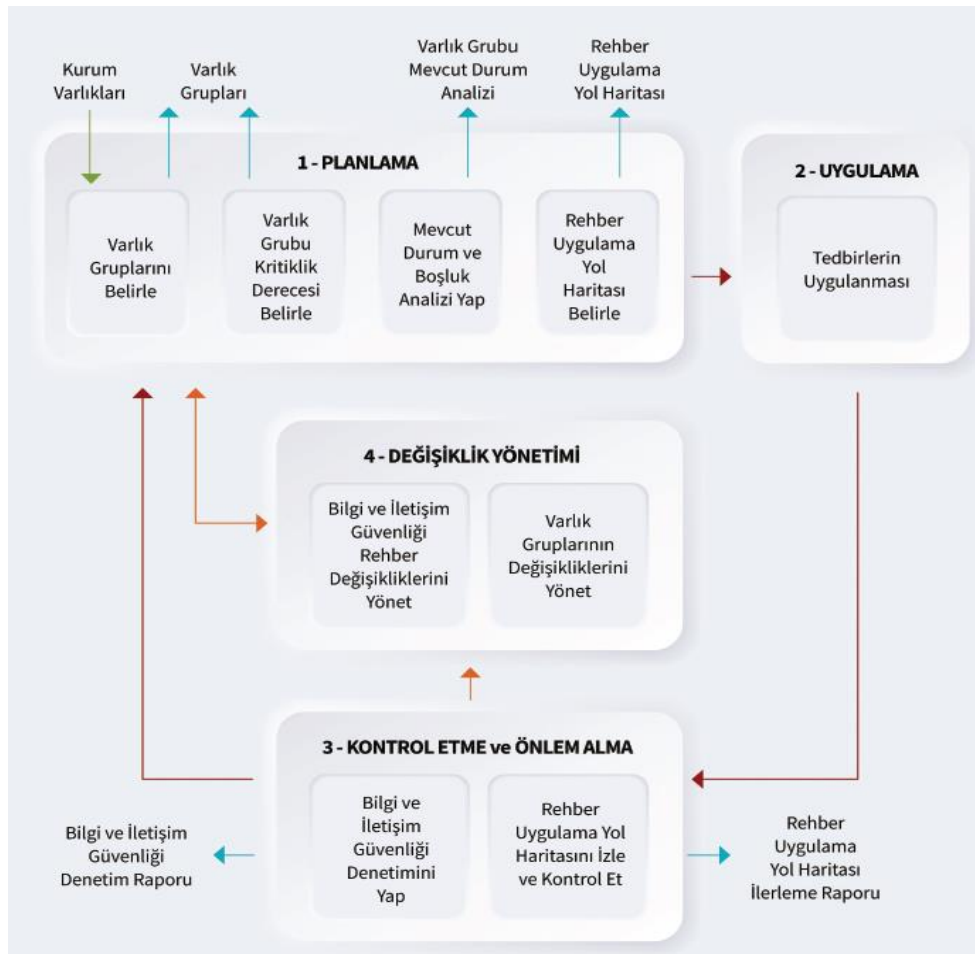
- Sıkılaştırma Tedbirleri: Bu bölümde işletim sistemleri, veri tabanı ve sunucu sıkılaştırmalarının bulunduğu 99 adet güvenlik tedbiri yer almaktadır. Tablo 3.'de sıkılaştırma tedbirlerine yönelik alt başlıklar görülmektedir.

Tablo 3. Sıkılaştırma tedbirlerine yönelik alt başlıklar

İşletim Sistemi Sıkılaştırma Tedbirleri	
Genel Sıkılaştırma Tedbirleri	
Linux İşletim Sistemi Sıkılaştırma Tedbirleri	
Windows İşletim Sistemi Sıkılaştırma Tedbirleri	
Veri Tabanı Sıkılaştırma Tedbirleri	
Genel Sıkılaştırma Tedbirleri	
Sunucu Sıkılaştırma Tedbirleri	
Web Sunucusu Sıkılaştırma Tedbirleri	
Sanallaştırma Sunucusu Sıkılaştırma Tedbirleri	

3.2. Rehber Uygulama Süreci

Şekil 1.'de görüldüğü gibi Rehber uygulama süreci, ISO/IEC 27001'de kullanılan "Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al (PUKÖ)" modelindeki bilgi güvenliği yönetim sürecine benzemektedir. Rehber'in bu özelliği, hali hazırda Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi (BGYS) uygulayan kurumlara rahatlıkla uygulanabilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi uygulama süreci (DDO, 2020)

4. ULUSLARARASI BİLGİ GÜVENLİĞİ STANDARTLARI

Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nin hazırlanmasında aşağıda açıklamaları yapılan birçok uluslararası standart, kılavuz ve en iyi uygulamalardan yararlanılmıştır.

4.1. CMMC (Cybersecurity Maturity Model Certification)

Siber Güvenlik Olgunluk Modeli Sertifikasyonu olarak Türkçeye çevrilen CMMC, Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın (DoD) Eylül 2020 yılında ilk versiyonunu yayımladığı, ulusal güvenliği ilgilendiren, bilgileri korumayı hedefleyen, savunma sanayiinde tedarikçi olarak çalışan ulusal ve uluslararası firmaların siber güvenlik olgunluklarını, belirli kriterlere göre ölçen ve bunu sertifikalandıran bir programdır (CMMC, 2021). Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nde de "Ağ ve Sistem Güvenliği", "Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği", "Personel Güvenliği", "Fiziksel Mekanların Güvenliği", "Kripto Uygulamaları Güvenliği", "Kritik Altyapılar Güvenliği" ve "Yeni Geliştirmeler ve Tedarik" güvenlik tedbirleri başlıklarında CMMC'de belirtilen kontrollerden yararlanılmıştır.

4.2. ISO/IEC 27001:2017 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi

ISO/IEC 27001, dünyada hemen hemen tüm sektörlerde en çok kullanılan bilgi güvenliği standardıdır. ISO/IEC 27001, kurum ve işletmelerin bilgi varlıklarını, Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi (BGYS) kurarak bilginin gizliliği, bütünlüğü ve erişilebilirliği özelliklerini korumayı amaçlayan ve bunu da risk yönetimi yaklaşımıyla gerçekleştiren uluslararası bir standarttır. BGYS'nin kurulması, işletilmesi, sürdürülmesi ve iyileştirilmesi için ISO/IEC 27001 ve ISO/IEC 27002 standartları birlikte kullanılmaktadır. ISO/IEC 27001 standardının Ek A bölümünde güvenlik denetimleri için kontrol maddeleri içermektedir (ISO/IEC 27001, 2017). Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nde de sıkılaştırma tedbirleri hariç tüm varlık gruplarına yönelik hazırlanan güvenlik tedbirlerinde, ISO/IEC 27001 standardının etkisi görülmektedir. Ayrıca Dijital Dönüşüm Ofisi, "TS EN ISO/IEC 27001:2017 Kontrolleri ile Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi Eşleştirme Tablosu" başlıklı bir doküman yayımlayarak kurumların, Rehber ve BGYS denetim süreçlerinin uyumlu olarak yönetilmesini desteklemektedir (DDO, 2021).

4.3. CIS Controls

CIS (Center for Internet Security), siber güvenlik alanında güven yaratma misyonuna sahip bağımsız, kar amacı gütmeyen, bilgi teknolojileri sistemlerini ve verilerini güvence altına almak için dünya çapında bilinen en iyi uygulamaları belirlemeye çalışan, küresel çapta bilişim teknolojileri uzmanları topluluğuna liderlik eden Amerika Birleşik Devletleri menşeli bir kuruluştur (CIS, 2021). CIS organizasyonu içinde oluşturulan CIS Controls ve CIS Benchmarks, en önemli iki siber güvenlik kılavuzu olup bunların yanında sistemlerin sıkılaştırılmış imajları da tüm dünyada ilgiyle takip edilen en iyi uygulamalardır. Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nde yer alan tedbir seviyesi 1, 2, 3 yaklaşımı, CIS Controls yapısında uygulanan üç seviyeli koruma tedbir yaklaşımına benzemektedir. Rehberde, "Ağ ve Sistem Güvenliği", "Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği", "Personel Güvenliği", "Kripto Uygulamaları Güvenliği", "Kritik Altyapılar Güvenliği" ve "Yeni Geliştirmeler ve Tedarik" güvenlik tedbirleri başlıklarında CIS Controls'da belirtilen güvenlik kontrollerinden yararlanılmıştır.

4.4. CIS Benchmark

CIS Benchmark'ları, sistemlerin güvenli yapılandırılması için en iyi yaklaşımı sunan bir kılavuzdur. CIS organizasyonu bünyesinde, 25 satıcı ürün ailesi içinden 100'den fazla oluşturulan CIS Benchmark'lar, dünya çapındaki bir çok siber güvenlik uzmanının katkılarıyla geliştirilmiştir.

CIS Benchmark'lar, hem kamu hem iş dünyası, hem de akademi tarafından geliştirilen en iyi uygulamaları barındıran güvenlik yapılandırma kılavuzlarıdır. CIS Benchmark dokümanlarında, işletim sistemleri, veri tabanları, sanallaştırma yazılımları ve ağ cihazları gibi birçok sistem hakkında oldukça fazla teknik detayın olduğu ve konu uzmanlarının ancak yorumlayabileceği sıkılaştırma önerileri bulunmaktadır. CIS Benchmark'lar, Rehber'de "İşletim Sistemi Sıkılaştırma", "Veri Tabanı Sıkılaştırma" ve "Sunucu Sıkılaştırma" tedbirlerinin hazırlanmasında önemli bir katkıya sahiptir.

4.5. Cloud Controls Matrix

Cloud Security Alliance (CSA), kar amacı gütmeyen, bulut bilişim güvenliği konusunda en iyi uygulamaların ve yaklaşımların belirlenmesinde rol alan, dünyanın bir çok yerinden gönüllü olarak çalışan uzmanların oluşturduğu bir organizasyondur (CSA, 2021). CSA'nın web sitesinde, bulut güvenliği konusunda oldukça fazla sayıda ücretsiz olarak elde edilebilen dokümanlar bulunmaktadır. Bunlardan biri de Rehber'de "Ağ ve Sistem Güvenliği", "Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği", "Personel Güvenliği", "Fiziksel Mekanların Güvenliği", "Anlık Mesajlaşma Güvenliği", "Bulut Bilişim Güvenliği", "Kritik Altyapılar Güvenliği" ve "Yeni Geliştirmeler ve Tedarik" güvenlik tedbirleri başlıklarının oluşturulmasında etkisi olan Cloud Controls Matrix (CCM) çerçevesidir.

4.6. NIST 800-53

The National Institute of Standards and Technology (NIST) ABD Ticaret Bakanlığı bünyesinde çalışmalarını sürdüren Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'dür. NIST, başta bilgi teknolojilerinde kullanılan sistemler olmak üzere birçok alanda ölçme faaliyetine yönelik metot ve standartları belirlemektedir. Özellikle NIST'in 800 serisinde yer alan dokümanlar, bilgi güvenliğinin konusu olan şifreleme standartları, taşınabilir cihaz güvenliği, bulut güvenliği, risk yönetimi, siber güvenlik çerçeveleri, politikaları ve prosedürleri tanımlamaktadır. NIST Special Publication 800-53 (NIST SP 800-53), "Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations" başlıklı bir doküman olup bilgi sistemleri ve kuruluşlar için güvenlik ve gizlilik kontrollerini içermektedir. NIST SP 800-53 Revision 5 dokümanında, 20 kontrol ana başlığı altında toplam 1.189 kontrol bulunmaktadır. Dokümandaki güvenlik ve gizlilik kontrolleri, sistemler, kuruluşlar ve bireyler için koruyucu önlemler sağlarken yasalara, düzenlemelere, politika ve standartlara uyumu kolaylaştırmak için tasarlanmıştır (NIST SP 800-53, 2020). Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi gibi bir çok uluslararası organizasyon da standart, kılavuz, çerçeve ve metot gibi rehber niteliğindeki dokümanlar geliştirirken NIST'in en popüler dokümanlarından biri olan SP 800-53 ile uyumlu olmaya dikkat etmeye çalışmaktadır. Rehberde, "Ağ ve Sistem Güvenliği", "Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği" ve "Kritik Altyapılar Güvenliği" güvenlik tedbirleri başlıklarının oluşturulmasında NIST SP 800-53 dokümanından yararlanılmıştır.

4.7. NIST 800-82

NIST SP 800-82 dokümanı "Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security" adıyla 2015 yılında yayımlanmış olup SCADA, DCS ve PLC gibi endüstriyel kontrol sistemlerinin güvenliğine yönelik hazırlanmıştır (NIST SP 800-82, 2015). Dokümanda, Endüstriyel Kontrol Sistemlerinin (EKS) yapısı, güvenlik mimarisi ve topolojileri hakkında genel bir bilgi verilirken EKS sistemlerine yönelik tehdit ve güvenlik açıkları tanımlanarak ilişkili riskleri azaltmak için güvenlik tedbirleri önerilmektedir. NIST SP 800-82 dokümanda, EKS sistemleri için uygulanabilir güvenlik kontrollerinin birçoğu NIST SP 800-53'den seçilmiştir. Bununla birlikte dokümanda diğer NIST SP 800 serisinde yer alan ve endüstriyel kontrol sistemlerini ilgilendiren kontrollere de yer verilmiştir. Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nde, "Kritik Altyapılar Güvenliği" tedbir maddelerinin hazırlanmasında NIST SP 800-82 dokümanından yararlanılmıştır.

4.8. NIST 800-125

NIST SP 800-125 dokümanı, “Guide to Security for Full Virtualization Technologies” adıyla 2011 yılında yayımlanmış olup sunucu ve masaüstü sanallaştırma için tam sanallaştırma teknolojileriyle ilişkili güvenlik endişelerini dile getirmekte ve bu endişeleri gidermek için de öneriler sunmaktadır. Dokümanda ayrıca sanallaştırma kavramlarının tanımı, sanallaştırma teknolojilerinin yapısı, özellikleri ve güvenlik önerilerine yer verilmektedir (NIST SP 800-125, 2011). Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi’nde, sanal sunucu sıkılaştırmalarına yönelik tedbir maddelerinde NIST SP 800-125 dokümanında belirtilen güvenlik önerilerinden de yararlanılmıştır.

4.9. OWASP Application Security Verification Standard

OWASP (Open Web Application Security Project), yazılım güvenliği konusunda farkındalığı artırmak için bir çok araç, proje, teknik doküman ve metodoloji geliştiren, kar amacı gütmeyen uluslararası çevrimiçi bir topluluktur (Wikipedia, 2022). OWASP adını en çok web uygulama güvenliğine yönelik hazırlanmış olduğu “Top 10” serisi ile duyurmuştur. OWASP Top 10 dokümanları, yazılım geliştiriciler ve uygulama güvenliği ile uğraşan uzmanlar için standart bir farkındalık belgesi olup siber güvenlik zafiyet ve tehditlerine vurgu yapmaktadır (OWASP, 2022). OWASP Application Security Verification Standard (ASVS), “Uygulama Güvenliği Doğrulama Standardı” olarak yazılım geliştiricilerin uygulamaları tasarlariken, geliştirirken ve test ederken dikkat etmesi gereken güvenlik kontrollerini içeren bir yapı sunmaktadır (OWASP, 2021). Rehber’de, “Uygulama ve Veri Güvenliği”, “Kritik Altyapılar Güvenliği” tedbirler başlıklarının oluşturulmasında OWASP ASVS dokümanından yararlanılmıştır.

4.10. OWASP Mobile Application Security Verification Standard

OWASP Mobile Application Security Verification Standard (MASVS), Mobil Uygulama Güvenliği Doğrulama Standardı olarak 2017 yılında mobil uygulama güvenliği için hazırlanmış bir dokümandır (OWASP, 2022). Rehberde, “Uygulama ve Veri Güvenliği”, “Taşınabilir Cihaz ve Ortam Güvenliği”, “Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazlarının Güvenliği” ve “Kritik Altyapılar Güvenliği” tedbirler başlıklarında OWASP MASVS dokümanından yararlanılmıştır.

4.11. OWASP IoT Security Verification Standard

OWASP IoT Security Verification Standard (ISVS), “IoT Güvenlik Doğrulama Standardı” olarak IoT uygulamaları için güvenlik gereksinimlerini belirler (OWASP, 2021). Bu belgede yer alan güvenlik gereksinimleri, IoT ekosistemi, kullanıcı uygulamaları, yazılım platformları, iletişim ve donanım platformları dahil olmak üzere IoT sistemleri ve uygulamalarının çeşitli yönlerini kapsamaktadır. Ayrıca dokümanda belirtilen güvenlik gereksinimleri, tasarım, geliştirme ve test dahil olmak üzere birçok ürün geliştirme aşaması için geçerlidir.

4.12. ENISA Security Aspects of Virtualization

2004 yılında kurulan European Network and Information Security Agency (ENISA), Avrupa Birliği (AB) siber güvenlik ajansıdır. Ajans, siber güvenlik yeteneklerini geliştirmenin yanı sıra tavsiye ve çözümler sunmak için AB üye devletleri ve diğer paydaşlarla yakın bir şekilde çalışmaktadır. ENISA, mevcut ve gelecekteki AB mevzuatı da dahil olmak üzere ağ ve bilgi güvenliği gereksinimlerini karşılamak için bir çok kılavuz, teknik doküman ve araştırma projeleri hazırlamaktadır. ENISA tarafından hazırlanan Sanallaştırmanın Güvenlik Yönleri (Security Aspects of Virtualization) raporunda ise sanallaştırma kavramlarından, sanallaştırma mimarisinin bileşenlerinden, sanallaştırma teknolojilerinin bilinen güvenlik açıklarından ve güvenlik

önlemlerinden bahsedilmektedir (ENISA, 2017). Rehber’de “Sunucu Sıkılaştırma” tedbirlerinin hazırlanmasında bu rapordan yararlanılmıştır.

4.13. DISA STIGs

Defense Information Systems Agency (DISA), asker, federal siviller ve tedarikçi firmalardan oluşan ABD Savunma Bakanlığı (DoD) muharebe destek kurumudur. DISA, ABD savunmasına katkıda bulunan herhangi bir kişi veya sisteme bilgi teknolojisi ve iletişim desteği sağlamak için yapmış olduğu birçok faaliyetin yanında referans dokümanlar, teknik kılavuzlar da hazırlamaktadır. Bu doküman serisinden biri de Security Technical Implementation Guides (STIGs), güvenlik teknik uygulama kılavuzlarıdır. Kılavuzlarda belirtilen güvenlik gereksinimleri, NIST 800-53 ve ilgili belgelerden türetilmiştir. STIG dokümanları özellikle ağ ve sistem sunucuları, veri tabanları, güvenlik duvarları gibi birçok ürünün sıkılaştırmasında kullanılmaktadır (STIG, 2022).

Rehber’de “Linux İşletim Sistemi Sıkılaştırma” tedbirlerinin hazırlanmasında “DISA STIG - Canonical Ubuntu 16.04 LTS Security Technical Implementation Guide”, “DISA STIG - Red Hat Enterprise Linux 7 Security Technical Implementation Guide”, “Red Hat Enterprise Linux 8 Security Hardening”, “Ubuntu Server Guide – Security” ve “Oracle Linux 7 Security Guide” dokümanlarından da yararlanılmıştır.

5. NESNELERİN İNTERNETİ (IoT) GÜVENLİĞİ

IoT cihazlarının mimari yapısı ve kullandığı iletişim protokolleri gereği bazı kısıtları bulunmaktadır. Sınırlı işlem gücü, sınırlı veri depolama kapasitesi, veri iletiminde sınırlı bant genişliği, sınırlı güç tüketimi ve düşük veri iletim hızı gibi teknik kısıtlar saldırganlar için de birer saldırı yüzeyi oluşturmaktadır (Asma vd., 2016) IoT saldırı vektörlerinin kök nedenlerinden biri de IoT cihaz üreticilerinin rekabet üstünlüğü elde etmek için güvenli tasarım ilkesini dikkate almadan hızlı ürün çıkarmalarıdır. Farklı IoT ürünlerinin varlığı, geliştirme süreçlerinde güvenlik alanında bilgi birikimini oluşmasını da yavaşlatmaktadır. Cihazlara yönelik güvenlik sorunları çıktığında da genellikle geçici çözümler üretilmekte ve saldırıların kök nedeni bulunamamaktadır.

Tablo 4.’de OWASP IoT Top 10 listesi görülmektedir. IoT sistemlerindeki zafiyetlere dikkat çekmek amacıyla hazırlanan bu liste dikkatlice incelendiğinde basit önlemler alınarak bile IoT cihazlarında belirli seviyede güvenliği sağlamanın mümkün olabileceği görülebilmektedir.

Tablo 4. OWASP IoT Top 10

1	Zayıf, Tahmin edilebilir veya Sabit Kodlanmış Parolalar
2	Güvensiz Ağ Servisleri
3	Güvensiz Ekosistem Ara yüzleri
4	Güvenli Güncelleme Mekanizmasının Eksikliği
5	Güvensiz veya Kullanımdan Kaldırılmış Bileşenler
6	Yetersiz Mahremiyeti Koruma Tedbirleri
7	Güvensiz Veri Transferi ve Depolaması
8	Cihaz Yönetimi Eksikliği
9	Güvensiz Varsayılan Ayarlar
10	Fiziksel Sıkılaştırma Eksikliği

IoT güvenliğinden söz edebilmek için IoT sistemindeki uçtan uca bütün bileşenlerin güvenlik unsurları dikkatle ele alınmalıdır. Sensörler, kontrolörler, ağ ve güvenlik cihazları, donanım cihazları, hücresel, kablolu ve kablosuz iletişim ortamları, mobil uygulamalar, web uygulamaları, bulut servisleri gibi verinin elde edildiği, iletiminin yapıldığı, saklandığı ve işlendiği tüm ortamlar güvenli bir IoT sistemi için risk çalışmasına dahil edilmeli ve bu riskleri azaltmaya yönelik güvenlik önlemleri hayata geçirilmelidir. IoT sistemlerine yönelik alınması gereken güvenlik önlemleri, “Ağ Güvenliği”, “İletişim Güvenliği”, “Veri Güvenliği”, “Cihaz Güvenliği”, “Bulut ve Uygulama Güvenliği”, “Kimlik Doğrulama ve Yetkilendirme”, “İşletim Güvenliği” ve “Uyum, Risk Yönetimi, Farkındalık, Güvenlik Testleri” başlıkları altında incelenebilir.

6. IoT GÜVENLİĞİ İÇİN BİR UYGULAMA ÖRNEĞİ

Ulusal Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi’nde varlık gruplarına yönelik 661 güvenlik tedbirine yer verilmiştir. Bu çalışmada, Rehber’in tedbir maddelerindeki güvenlik yaklaşımının daha iyi anlaşılması için kapsam daraltması yapılarak sadece Rehber ana başlıklardan biri olan IoT güvenliğine yönelik tedbirler detaylı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte çalışmanın amaçlarından biri de IoT ortamlarının güvenliğinin nasıl sağlanabileceğine dair bir uygulama platformu oluşturmaktır. Özellikle IoT sistemleri için test ortamı oluşturma maliyetinin yüksek olması ve aktif çalışan IoT ortamında güvenlik denetimlerinin yapmanın yüksek risk barındırması sebebiyle simülasyon ortamına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada da Cisco Packet Tracer kullanılarak simülasyon ortamı oluşturulmuş ve Rehberdeki IoT güvenliğine yönelik tedbirlerin, temsili kurumun yapısıyla uyumlu olup olmadığı kontrol edilmiştir.

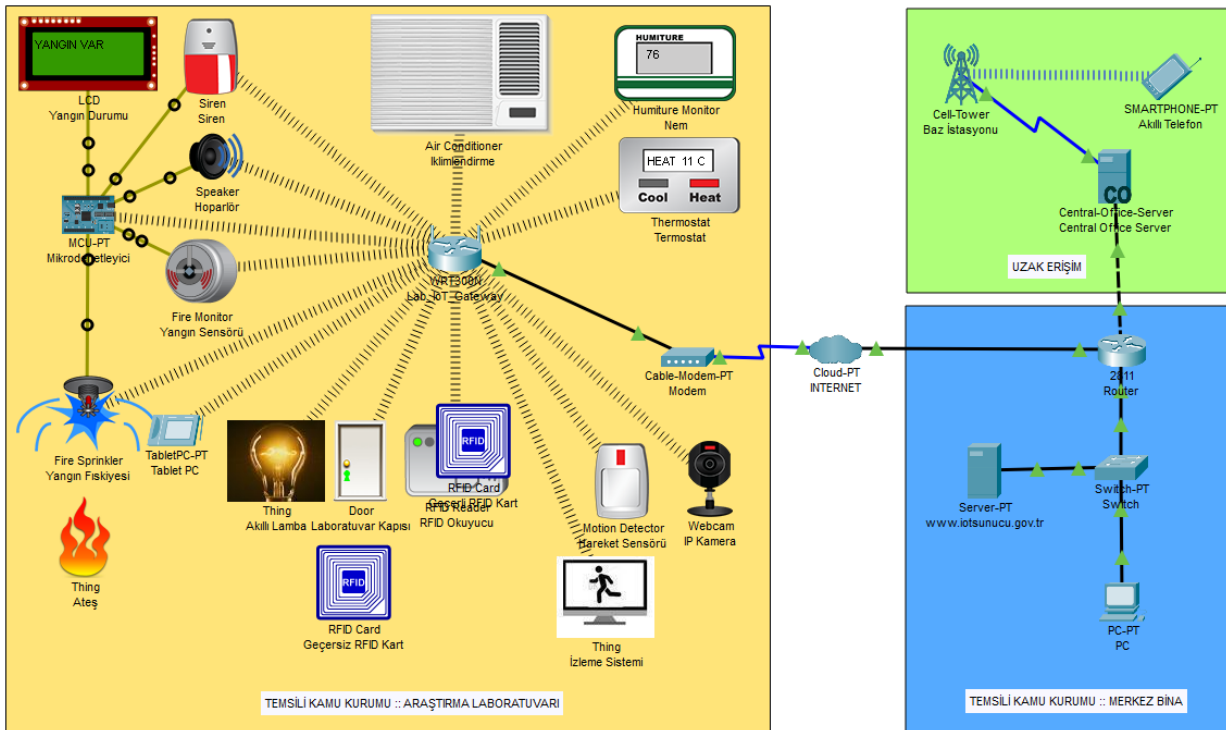
6.1. Temsili Kurumun IoT Simülasyon Ortamı

Temsili kurumunun IoT simülasyon ortamı Packet Tracer aracı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.). Cisco tarafından geliştirilen Packet Tracer yazılımı, kullanıcıların ağ, siber güvenlik ve IoT konusunda yetkinliklerini geliştirmelerine imkan veren bir ağ simülasyon ve görselleştirme aracıdır (Cisco, 2022).

Bu çalışma için örnek teşkil eden temsili kurum, AR-GE faaliyetlerinde bulunan ve bir araştırma laboratuvarına sahip kamu kurumudur. Temsili kamu kurumunun merkez binası il merkezinde bulunurken araştırma laboratuvarı ise ilçe merkezindedir. Araştırma laboratuvarının güvenliği için IoT sensörler yerleştirilmiş ve bunların çalışması ve ürettiği alarmlar izlenmektedir. Sensörlerin ve IoT sisteminin yönetimi il merkez binasında bulunan IoT sunucu tarafından yönetilmektedir. Ayrıca IoT cihazlarının durumu uzaktan akıllı telefon yardımı ile de izlenebilmektedir. Tablo 5.’de temsili kurumun laboratuvarında kullandığı IoT cihazları görülmektedir.

Tablo 5. Temsili kurumun laboratuvar ortamında kullandığı IoT cihazları

Laboratuvar IoT Cihazları
Nem Sensörü
Sıcaklık Sensörü (Termostat)
İklimlendirme
Yangın Sistemi (Yangın Sensörü, Alarm Sistemi, Yangın Fıskiyesi)
RFID Okuyucu – RFID Kart
Hareket Sensörü
IP Kamera
Akıllı Lamba
Mikrodenetleyici
IoT Gateway
IoT Sunucu



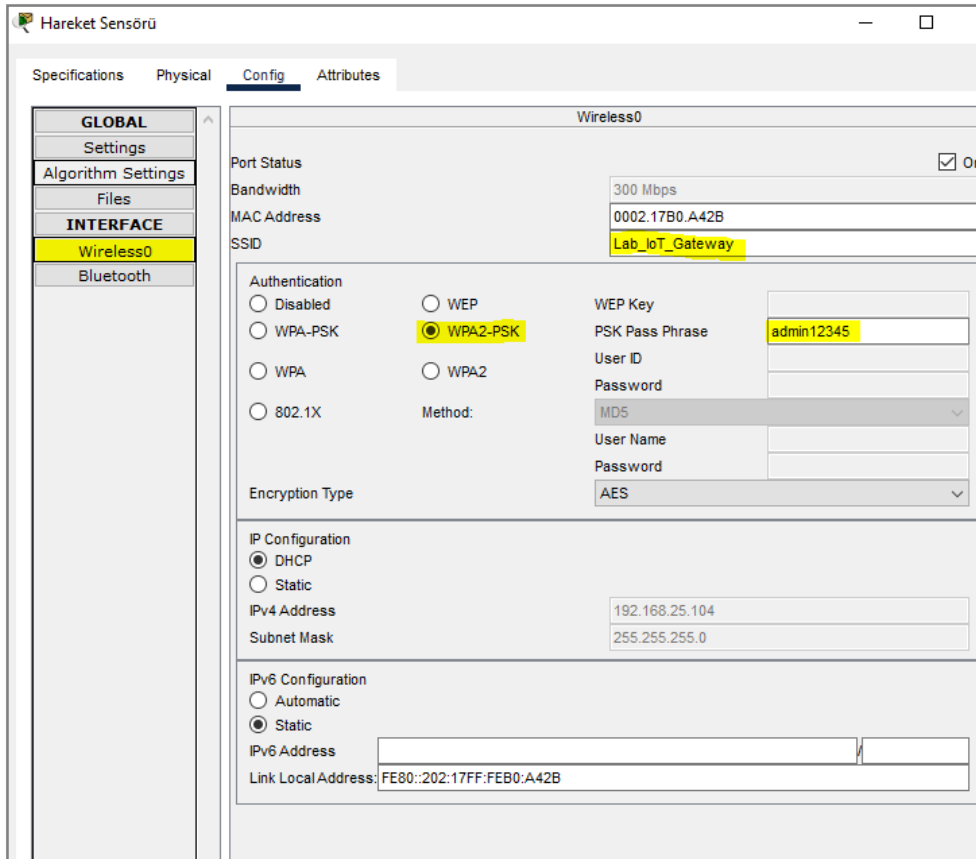
Şekil 2. Temsili kurumun IoT simülasyon ortamı

Şekil 2.'de gösterilen simülasyon ortamı, temsili kamu kurumuna ait IoT topolojisidir. Topolojinin çalışması için gerekli olan modem, yönlendirici, anahtar gibi ağ cihazlarının yapılandırma ayarlarına burada değinilmeyip simülasyon üzerinde gerekli ayarlar yapılmıştır. Tablo 6.'de ise araştırma laboratuvarına konumlandırılan IoT cihazlarının kullanım amaçları belirtilmektedir.

Tablo 6. Temsili kurumun IoT cihazlarının kullanım amaçları

IoT Cihazı	Kullanım Amacı
Yangın Sensörü, Yangın Fıskiyesi, Siren, Hoparlör, LCD Ekran, Mikrodenetleyici, IoT Gateway, IoT Sunucu	Yangın çıktığında yangın alarm sistemini devreye sokarak ses ve görsel bildirimde bulunmak
RFID Okuyucu, RFID Kart, Akıllı Lamba, Kapı, IoT Gateway, IoT Sunucu	Geçerli RFID kartını okuyarak yetkili kişilere laboratuvar kapısını açmak ve ortamı aydınlatmak
Hareket Sensörü, IP Kamera, İzleme Sistemi, IoT Gateway, IoT Sunucu	Laboratuvar kapı girişinde hareket olduğunda kamera ile ortamın fotoğrafını çekip IoT sunucusuna göndermek
Nem Sensörü, İklimlendirme, Sıcaklık Sensörü, IoT Gateway, IoT Sunucu	Laboratuvar ortamının sıcaklık ve nem değerlerine göre iklimlendirme cihazını çalıştırmak

Sensörlerin ve mikrodenetleyicilerin çalışır hale getirilmesinden sonra bunların IoT Gateway ile iletişim kurması için yapılandırma ayarlarının yapılması gerekmektedir. Şekil 3.'de hareket sensörünün IoT gateway ile kablosuz erişim yapılandırmasında kullanılan ekranı görülmektedir. Şekil 3.'deki gibi tüm sensörler kablosuz iletişimde SSID olarak "Lab_IoT_Gateway" adını, kimlik doğrulama için "WPA2-PSK" protokolünü ve şifreleme için "AES" algoritmasını kullanmaktadır.



Şekil 3. Hareket sensörünün IoT gateway ile kablosuz erişim yapılandırması

Hareket sensörünün IoT sunucusuna veri gönderebilmesi için Şekil 4.'deki ekranda olduğu gibi IoT Server sekmesine sunucu IP adresi, kullanıcı adı ve parola bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Bu bilgilerin aynı şekilde tüm sensör ve akıllı cihazların yapılandırma ayarlarına girilmesi gerekmektedir.

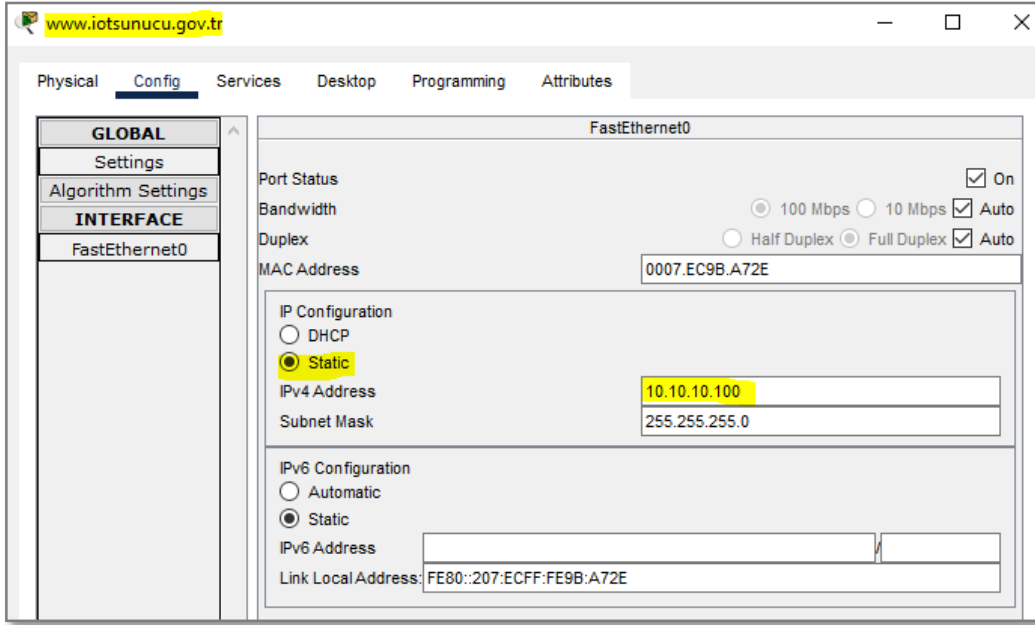
Burada kullanıcı adı ve parolaların varsayılan kullanıcı adı ve parola olarak kullanıldığı, IoT sunucusunun DNS Server olarak yapılandırıldığı ve IP adreslerinin DHCP servisi ile otomatik olarak dağıtıldığı görülmektedir. Ayrıca tüm IoT cihazlarının IoT Gateway ile iletişim kurabilmesi için aynı kablosuz ağ içinde bulunması gerekmektedir.

The screenshot shows the configuration interface for a motion sensor (Hareket Sensörü). The interface is divided into several sections: GLOBAL, INTERFACE, and IoT Server. The GLOBAL section includes Settings, Algorithm Settings, and Files. The INTERFACE section includes Wireless0 and Bluetooth. The IoT Server section is currently selected and shows the following settings:

- Display Name:** Hareket Sensörü
- Serial Number:** PTT081088HM-
- Interfaces:** Wireless0
- Gateway/DNS IPv4:**
 - DHCP
 - Static
 - Default Gateway:** 192.168.25.1
 - DNS Server:** 10.10.10.100
- Gateway/DNS IPv6:**
 - Automatic
 - Static
 - Default Gateway:** [Empty field]
 - DNS Server:** [Empty field]
- IoT Server:**
 - None
 - Home Gateway
 - Remote Server
 - Server Address:** 10.10.10.100
 - User Name:** admin
 - Password:** admin

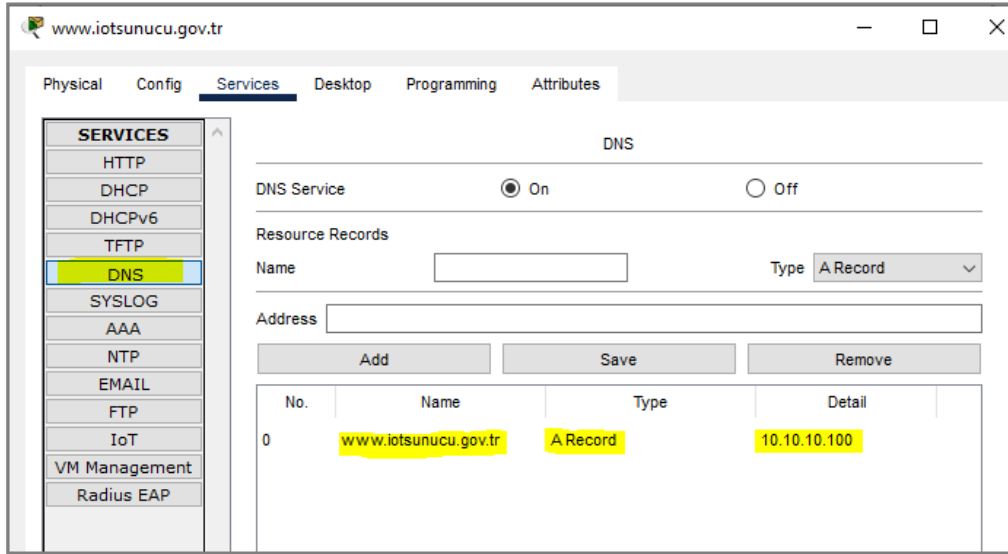
Şekil 4. Hareket sensörünün IoT sunucu ile kimlik doğrulama yapılandırması

IoT gateway, sensörlerdeki verinin uzak noktalardaki uygulama sunucularına gönderilmesi ve alınmasında köprü görevi görmektedir. Gateway üzerindeki yapılandırmalar sistemin güvenliği için büyük önem arz etmektedir. IoT sunucusunda kayıtlı tüm akıllı nesnelere, bir bilgisayar veya akıllı telefon kullanılarak bir web ara yüzü üzerinden uzaktan erişilerek kontrol edilebilmektedir. Bu nedenle, tüm akıllı cihazların aynı IP adresini kullanarak IoT sunucusuna bağlanabilmesi için Şekil 5.'deki gibi IoT sunucusunun statik bir IP adresi ile yapılandırılması gerekmektedir.



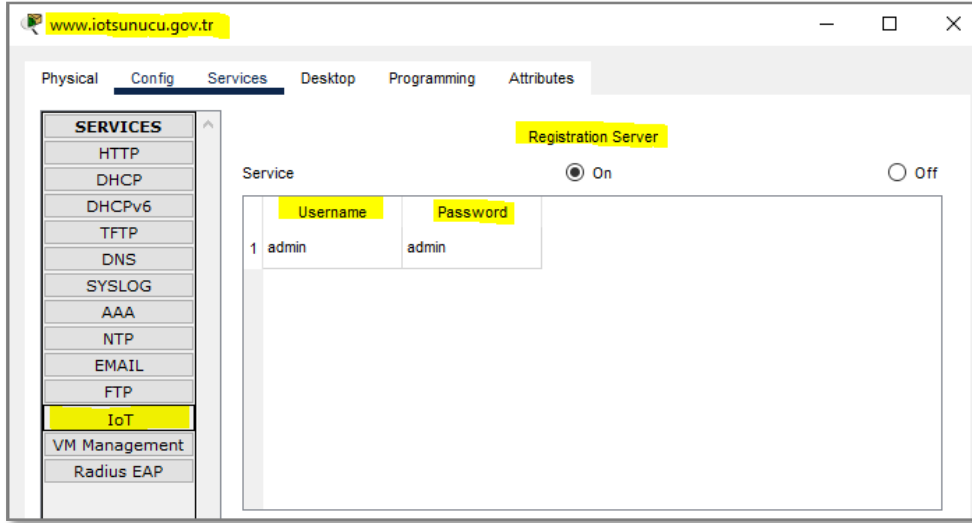
Şekil 5. IoT sunucusunun statik IP adresi yapılandırması

Kullanıcıların, IoT sunucusuna uzaktan erişiminde IP adresi yerine Şekil 6.'da görüldüğü gibi "www.iotsunucu.gov.tr" alan adını kullanarak erişmesini sağlamak için de IoT sunucusu aynı zamanda DNS sunucusu olarak yapılandırılması gerekmektedir.



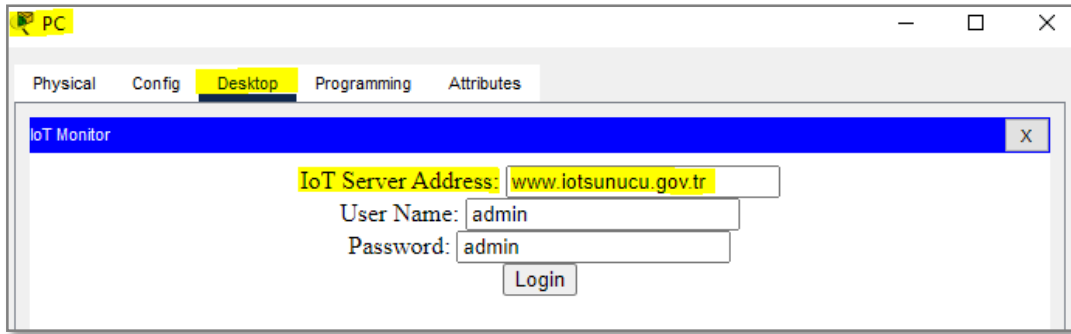
Şekil 6. IoT sunucusunun DNS yapılandırması

Şekil 7.'de ise tüm IoT cihazlarının IoT sunucusuna kaydolabilmesi için sunucu kimlik doğrulamada gerekli olan kullanıcı adı ve parola bilgilerinin tanımlandığı ekran görülmektedir. Bu bilgilerin kurum erişim ve parola politikalarına uygun bir şekilde tanımlanması olası siber güvenlik risklerini azaltacaktır.



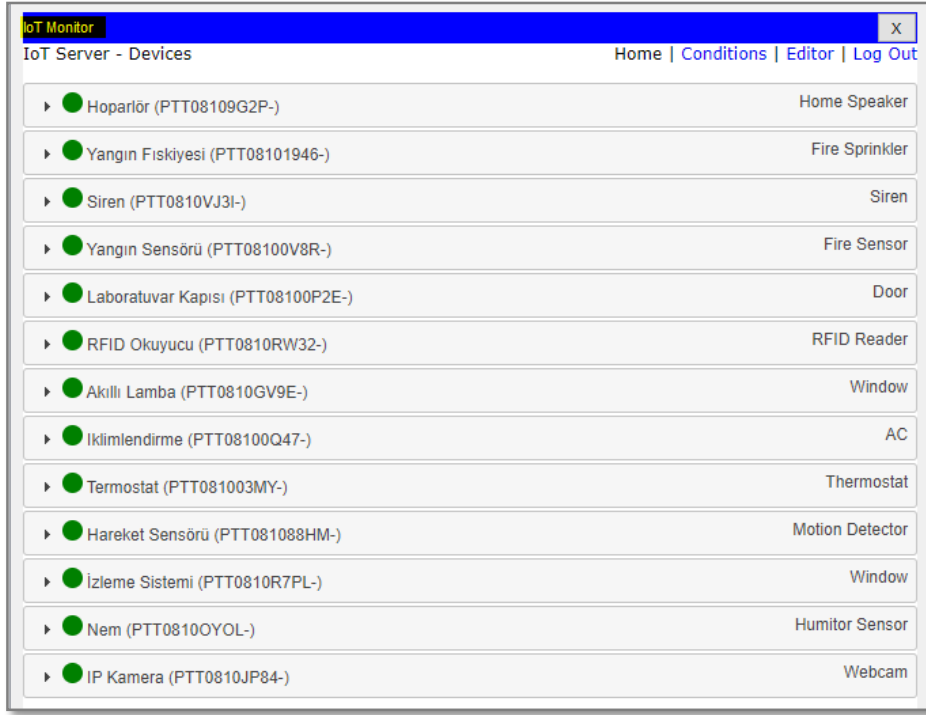
Şekil 7. IoT sunucusunun kimlik doğrulama yapılandırması

Şekil 8.'de ise kurum ağındaki bir bilgisayardan IoT sunucusuna bağlanmaya çalışıldığı görülmektedir. IoT sunucusu oturum açma ekranında sunucu adresi, kullanıcı adı ve parola bilgileri girilerek kullanıcının kimlik doğrulaması yapılmaktadır.



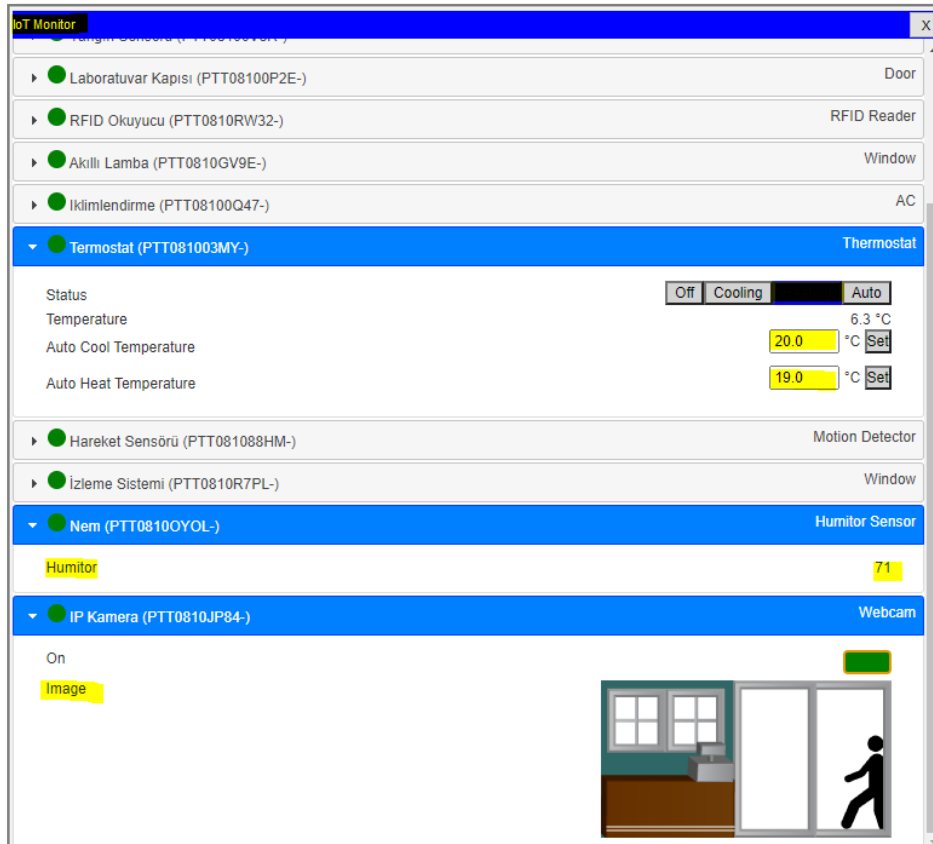
Şekil 8. IoT sunucusu oturum açma ekranı

IoT sunucusuna yapılan başarılı oturum açma işlemi sonrasında Şekil 9.'daki gibi IoT sunucusuna kayıtlı cihazlar görülmektedir.



Şekil 9. IoT sunucusuna kayıtlı cihazlar

Bu cihazların yönetimi yine bu ara yüz üzerinden yapılabilmektedir (Şekil 10.).



Şekil 10. IoT sunucusuna bağlı cihazların yönetimi

Şekil 11.'de görülen IoT sunucusunun “Conditions” sekmesi kullanılarak IoT cihazlarının belirli şartlar altında nasıl davranacağı da belirlenebilmektedir.

Actions		Enabled	Name	Condition	Actions
Edit	Remove	Yes	Rfid_active	RFID Okuyucu Card ID = 1001	Set RFID Okuyucu Status to Valid
Edit	Remove	Yes	Rfid_disable	RFID Okuyucu Card ID != 1001	Set RFID Okuyucu Status to Invalid
Edit	Remove	Yes	door_open	RFID Okuyucu Status is Valid	Set Laboratuvar Kapısı Lock to Unlock Set Akıllı Lamba On to true
Edit	Remove	Yes	door_close	RFID Okuyucu Status is Invalid	Set Laboratuvar Kapısı Lock to Lock Set Akıllı Lamba On to false
Edit	Remove	Yes	Dusuk Sıcaklık	Termostat Temperature <= 16.0 °C	Set İklimlendirme On to false
Edit	Remove	Yes	Yukse Sıcaklık	Termostat Temperature >= 23.0 °C	Set İklimlendirme On to true
Edit	Remove	Yes	IP Kamera_On	Hareket Sensörü On is true	Set IP Kamera On to true Set İzleme Sistemi On to true
Edit	Remove	Yes	IP Kamera_Off	Hareket Sensörü On is false	Set IP Kamera On to false Set İzleme Sistemi On to false
Edit	Remove	Yes	Nem_on	Nem Humitor >= 80	Set İklimlendirme On to true

Şekil 11. IoT sunucusuna bağlı cihazların durumsal koşullara göre hareketi

Örneğin, Şekil 12.'de belirtilen kurala göre eğer Hareket Sensörünün “On” değeri “true” değerine sahip olursa IP Kamera ve İzleme Sisteminin de “On” değeri true olacaktır. Böylece hareket sensörü, herhangi bir nesnenin hareketini algılayarak IP kamerayı tetikleyecek ve kamerada ortamdaki hareketin fotoğrafını çekerek İzleme Sistemine gönderecektir.

Edit Rule

Name

Enabled

If:

Match is

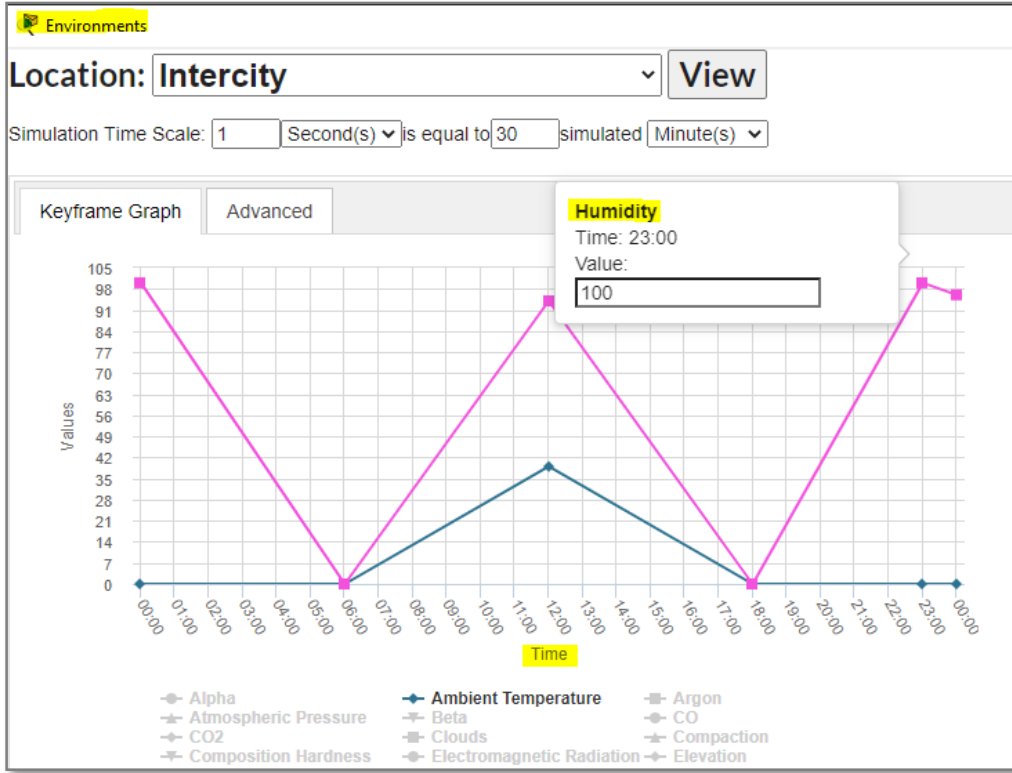
Then set:

to

to

Şekil 12. IoT sunucusuna bağlı hareket Sensörüne yönelik hazırlanan kural

Cisco Packet Tracer yazılımı ile ışık, duman, nem, karbondioksit, sıcaklık, yerçekimi gibi çevresel koşullar simüle edilebilmektedir. Bir çok IoT cihazı da bir şekilde çevresel koşullarla etkileşime girerek ortamı etkilemektedir. Şekil 13.'de ise IoT sisteminin bulunduğu çevresel koşulların ayarlandığı Packet Tracer yazılımının “Environments” ekranı görünmektedir. Bu ekranda 24 saatlik çevresel koşullar simüle edilmektedir. Bu çalışmadaki simülasyon ortamında ise her 1 saniye 30 dakikalık zamanı temsil etmektedir.



Şekil 13. IoT sisteminin bulunduğu çevresel koşullar

6.2. Temsili Kurumun Rehber IoT Güvenliği Uyumunun Değerlendirilmesi

Temsili kurumun Rehber IoT güvenliği uyumunun değerlendirilmesi için Şekil 2.'de oluşturulan IoT simülasyon ortamı esas alınmaktadır. Temsili kurumun Rehber uyumunda şu beş ana madde üzerinden değerlendirmesi yapılacaktır:

1. IoT varlık gruplarının belirlenmesi
2. IoT varlık gruplarının kritiklik derecelerinin belirlenmesi
3. IoT varlık gruplarının kritiklik derecesine uygun tedbirlerin belirlenmesi
4. IoT varlık gruplarının mevcut durum ve boşluk analizi çalışmasının yapılması
5. IoT varlık gruplarına yönelik uygulama yol haritasının oluşturulması

6.2.1. IoT varlık gruplarının belirlenmesi

Bu çalışmanın kapsamı Rehber IoT güvenliği ile sınırlandırıldığı için varlık gruplarının belirlenmesinde de sadece IoT cihazları dikkate alınmıştır. IoT cihazlarının iletişim kurması için gerekli olan ağ ve sistem cihazları bu varlık gruplarına dahil edilmemiştir. Nem, sıcaklık ve hareket sensörleri ile iklimlendirme ve akıllı lamba ortak işlevlere sahip oldukları düşünülerek tek bir varlık grubu altında toplanmıştır. Yangın sensörü, alarm sistemi ve yangın fiskiyesi de aynı ortak amaca hizmet ettikleri için "Yangın Sistemi" varlık grubu başlığı altına alınmıştır (Tablo 7.).

Tablo 7. IoT varlık grupları

Varlık Grubu Ana Başlığı	Varlık Grubu No	Varlık Grubu Adı
Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazları	3.4.1	IP Kamera
	3.4.2	Sensörler - İklimlendirme - Akıllı Lamba
	3.4.3	Yangın Sistemi
	3.4.4	RFID Okuyucu – RFID Kart
	3.4.5	Mikrodenetleyici
	3.4.6	IoT Gateway
	3.4.7	IoT Sunucu

6.2.2. IoT varlık gruplarının kritiklik derecelerinin belirlenmesi

IoT varlık gruplarının kritiklik derecelerini belirlemek için Rehber’de EK-C.1’de yer alan “Varlık Grubu Kritiklik Derecelendirme Anketi’nin” doldurulması gerekmektedir. Bu nedenle varlık sahipleri, sistem yöneticileri ve teknik uzmanlardan oluşan 5 kişilik bir çalışma grubu oluşturularak Tablo 7.’de belirtilen her varlık grubu için kritiklik derecesi belirlenmiştir.

Şekil 14.’de Sensörler varlık grubuna yönelik hazırlanmış olan kritiklik derecesi belirleme anketi görülmektedir. Benzer çalışma diğer IoT varlık grupları için de yapılmış olup tüm IoT varlık gruplarının kritiklik derecesi 1 olarak tespit edilmiştir.

Varlık Grubu: 3.4.2. Sensörler- İklimlendirme- Akıllı Lamba

Boyut	Soru No.	Şıkların Puanları					Soru Puanı
		a	b	c	d	e	
İşlenen Veri Açısından							
Gizlilik	1	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan		1
Bütünlük	2	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan		1
Erişilebilirlik	3	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan		1
Etki Alanı Açısından							
Etkilenen Kişi Sayısı	4	1 puan	2 puan	3 puan	4 puan	5 puan	1
Toplumsal Sonuçlar	5	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan	6 puan	1
Kurumsal Sonuçlar	6	1 puan	2 puan	3 puan			1
Sektörel Etki	7	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan		1
Bağımlı Varlıklar	8	1 puan	2 puan	3 puan	5 puan	6 puan	1
Anket Puanı (Tüm soruların puanlarının toplamı)							8
Varlık Grubu Kritiklik Derecesi							Derece 1

Şekil 14. Sensörler varlık grubunun kritiklik derecesi belirleme anketi

6.2.3. IoT varlık gruplarının kritiklik derecesine uygun tedbirlerin belirlenmesi

Bu çalışmada oluşturulan temsili kurumun sahip olduğu tüm IoT varlık gruplarının kritiklik derecesi 1 olduğu için Rehber’deki güvenlik tedbirlerinden sadece 1. seviye tedbirlerin seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca Şekil 15.’de görüldüğü gibi IoT varlık gruplarına yönelik hangi 1.

seviyedeki tedbir maddelerinin uygulanabilir olduğunu belirlemek için Rehber’de yer alan “Varlık Gruplarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri”, “Uygulama ve Teknoloji Alanlarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ve “Sıkılaştırma Faaliyetlerine Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ana başlıklarındaki tedbir maddelerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir.

TEMSİLİ KAMU KURUMU												
VARLIK GRUBU VE KRİTİKLİK DERESESİ TANIMLAMA FORMU												
Varlık Grubu Ana Başlığı	Varlık Grubu No	Varlık Grubu Adı	Uygulama ve Teknoloji Alanlarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri (Her varlık grubu için aşağıdaki başlıkların Uygulanabilir (U) / Uygulanabilir Değil (UD) olduğunu belirtiniz.)						Sıkılaştırma Tedbirleri (Her varlık grubu için aşağıdaki başlıkların Uygulanabilir (U) / Uygulanabilir Değil (UD) olduğunu belirtiniz.)			Kritiklik Derecesi (Derece 1 / Derece 2 / Derece 3)
			Kişisel Verilerin Güvenliği	Anlık Mesajlaşma Güvenliği	Bulut Bilişim Güvenliği	Kripto Uygulamaları Güvenliği	Kritik Altyapılar Güvenliği	Yeni Geliştirmeler ve Tedarik	İşletim Sistemi Sıkılaştırma Tedbirleri	Veri Tabanı Sıkılaştırma Tedbirleri	Sunucu Sıkılaştırma Tedbirleri	
Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazları	3.4.1	IP Kamera	U	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.2	Sensörler- Akıllı Klima- Akıllı Lamba	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.3	Yangın Sistemi	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.4	RFID Okuyucu – RFID Kart	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.5	Mikrodenetleyici	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.6	IoT Gateway	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	Derece 1
	3.4.7	IoT Sunucu	U	UD	UD	UD	UD	UD	UD	U	UD	U

Şekil 15. Varlık gruplarına yönelik tedbirlerin uygulanabilirliği

Örneğin Sensörler varlık grubu için Şekil 15.’e bakıldığında “Uygulama ve Teknoloji Alanlarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ve “Sıkılaştırma Faaliyetlerine Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ana başlıklarındaki tedbir maddelerinin hiç birinin uygulanabilir olmadığı görülmektedir. Bu nedenle Sensörler varlık grubu için sadece “Varlık Gruplarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ana başlığındaki 1. Seviye tedbir maddelerinden uygulanabilir olanlar seçilmelidir.

6.2.4. IoT varlık gruplarının mevcut durum ve boşluk analizi çalışmasının yapılması

Şekil 15.’e göre oluşturulan IoT varlık gruplarının kritiklik derecesine uygun tedbirlerin belirlenmesi ile temsili kamu kurumunun IoT varlık grupları için mevcut durum ve boşluk analizi çalışması yapılabilmektedir. Tablo 6.’da belirtilen her bir IoT varlık grubu için uygulanabilir olan 1. seviyedeki tedbir maddelerine bakılarak kurumun Rehber IoT güvenliği kapsamında hangi oranda uyumlu olduğu mevcut durum ve boşluk analizi çalışmasıyla ortaya çıkarılmaktadır. Bu çalışmada uygulanabilir tedbir maddelerinin oldukça fazla olması ve her bir tedbir maddesinin de tüm IoT varlık grupları için de uygulanması gerekliliğinden dolayı örneklem seçimine gidilmiştir. Burada mevcut durum ve boşluk analizi çalışması sadece “IoT Sunucu” varlık grubu için ve sadece “Varlık Gruplarına Yönelik Güvenlik Tedbirleri” ana başlığı altındaki “Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazlarının Güvenliği” tedbir maddeleri seçilerek yapılmıştır (Tablo 8.).

Tablo 8. IoT cihazlarının güvenliğine yönelik 1. seviye tedbirler (DDO, 2020)

3.4. Nesnelerin İnterneti (IoT) Cihazlarının Güvenliği			
3.4.1. Ağ Servisleri ve İletişimi			
Tedbir No	Tedbir Seviyesi	Tedbir Adı	Tedbir Tanımı
3.4.1.1	1	Ağ Portlarının Kısıtlanması	Cihazlarda sadece ilgili fiziksel ve mantıksal portlar ile servisler açık bırakılmalıdır.
3.4.1.2	1	Ağ Servislerinin Güvenlik Kontrolleri	Gerekli tüm ağ servislerinin açıklara ve saldırılara karşı kontrolleri periyodik olarak yapılmalıdır.
3.4.1.3	1	Güvenli Yapılandırma	Cihaza yönelik aşağıda yer alan işlemlerin yapılması ve işlemler sırasında gerekli tüm bilgilerin güvenli bir şekilde aktarılması sağlanmalıdır. Cihaz kurulumu Konfigürasyon güncellemeleri Sistem yazılımı güncellemeleri İşletim sistemi ve kütüphane güncellemeleri IoT cihazlarının kurulumu ve yapılandırılması, yeniden başlatma ve kurtarma işlemleri vb. operasyonel ve yönetsel faaliyetlere ilişkin işletim prosedürleri hazırlanmalıdır.
3.4.1.4	1	Cihazın Güvenli İmhası veya Tekrar Kullanımı	Cihazın depolama ortamı içeren tüm parçaları elden çıkarılmadan veya yeniden kullanılmadan önce, herhangi bir kritik veri ve/veya lisanslı yazılım varsa kaldırılmasını veya güvenli şekilde üzerine yazılmasını sağlamak için kontrol edilmelidir. Verinin ve veri içeren ortamların güvenli imhası için işletilecek yöntemler verinin kritikliği göz önünde bulundurularak sınıflandırılmalı, yazılı hale getirilmeli ve uygulamaya alınmalıdır.
3.4.1.5	1	Yetkisiz Cihazların Kurum Ağına Bağlanmasının Engellenmesi	IoT cihazlarının izin alınmadan ağa bağlanmalarını ve yer değiştirmelerini engellemek amacıyla gerekli önlemler alınmalıdır.
3.4.2. Dâhili Veri Depolama			
3.4.2.1	1	Veri Yedekleme	Cihaz üzerinde yer alan veri, bilgi güvenliği ve yedekleme ihtiyaçları doğrultusunda düzenli olarak yedeklenmelidir.
3.4.2.2	1	Verilere Yetkili Erişim	IoT sistemlerinde depolanan verilerin güvenliğinin sağlanması için yetkilendirme sağlanmalıdır.
3.4.3. Kimlik Doğrulama ve Yetkilendirme			

3.4.3.1	1	Oturum Sonlandırma İşlemlerinin Aktifleştirilmesi	Sistemde tanımlı ise oturum sonlandırma işlemleri aktifleştirilmelidir. Bilgi güvenliğini tehdit eden bir durumun ortaya çıkması halinde oturum sonlandırma ve cihazı pasife alma işlemleri uzaktan yapılabilirdir.
3.4.3.2	1	Kimlik Doğrulama Politikası	Güçlü kimlik doğrulama politikası tanımlanmalı ve uygulanmalıdır. Cihazın içinde iletişim için kullanılan kimlik bilgileri güvenli bir şekilde tutulmalıdır.
3.4.3.3	1	Kullanıcı Yetki Sınırlaması	Kullanıcı hesapları tekil olacak şekilde oluşturulmalı, bilgi güvenliği gereksinimleri ve cihazın yetenekleri doğrultusunda erişim yetkileri asgari düzeyde tanımlanmalıdır.
3.4.3.4	1	Varsayılan Kimlik Doğrulama Bilgilerinin Değiştirilmesi	Ön tanımlı parolalar ve kullanıcı isimleri, kullanım öncesinde mutlaka değiştirilmeli ve kullanılan parolaların güvenli bir alanda muhafaza edilmesi sağlanmalıdır.
3.4.3.5	1	Sıfırlama Mekanizmaları	Cihaz üzerinde sıfırlama mekanizması bulunmalı ve bu mekanizmaya yetkisiz erişim engellenmelidir.
3.4.4. API ve Bağlantı Güvenliği			
3.4.4.1	1	Varsayılan Kimlik Doğrulama Bilgilerinin Değiştirilmesi	Sistemde yerel veya bulut tabanlı web uygulamalarının varsayılan kimlik doğrulama bilgisi değiştirilmelidir.
3.4.4.2	1	API ve Bağlantı Güvenliği	API ve bağlantılarda IP kısıtlaması yapılmalıdır.
3.4.5. Diğer Güvenlik Tedbirleri			
3.4.5.1	1	Güncellemelerin Kontrolü	Sistemde varsa yeni güncelleme alma özelliği aktifleştirilmeli ve güncellemeler güvenilir kaynaklardan periyodik olarak alınmalıdır.
3.4.5.2	1	Cihazlara Fiziksel Erişimin Kısıtlanması	Cihazlara sadece yetkili kişiler fiziksel erişim sağlamalıdır. Yetkisiz kişilerin fiziksel erişimini engelleyecek güvenlik önlemleri alınmalıdır.

IoT Sunucu varlık grubu için mevcut durum ve boşluk analizi çalışması, varlık sahipleri, teknik uzmanlar ve üst düzey yöneticinin katıldığı bir çalışma grubu ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 9.'da tedbir seviyesi 1 olan "IoT Cihazlarının Güvenliği" tedbir ana başlığındaki 16 maddenin temsili kurumun IoT yapısı dikkate alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 9. IoT Sunucu varlık grubu için mevcut durum ve boşluk analizi

Tedbir No	Uygulanma Durumu (T/Ç/K/H/UD)	Mevcut Duruma Yönelik Açıklama	Hedeflenen Durumu (T/Ç/K/H/UD)	Hedeflenen Durum İçin Yapılması Gereken Çalışmalar
3.4.1.1	Ç	IoT sunucunun TCP 80 ve 443 nolu portu açık. Diğer servislerin ve portların açık olup olmadığı bilinmemektedir.	T	IoT sunucu için dış hizmet alımı yöntemiyle sızma testi yaptırılacaktır.
3.4.1.2	H	Ağ servisleri için periyodik olarak açıklık kontrolleri yapılmamaktadır.	K	Ağ servislerinin zafiyet taraması için açık kaynak yazılımlar belirlenecek ve konu ile ilgili personelin eğitim alması sağlanacaktır.
3.4.1.3	K	Cihaz yapılandırmalarında uluslararası kabul görmüş en iyi uygulamalar esas alınmaktadır. Ancak IoT sunucunun kurulum, işletim ve yapılandırması için herhangi bir prosedür hazırlanmamıştır.	T	Sistem yöneticileri tarafından IoT cihazlarının kurulum ve yapılandırılması için prosedürler hazırlanacaktır.
3.4.1.4	H	IoT cihazlarının güvenli imhası veya tekrar kullanımı için herhangi bir süreç tanımlanmamıştır.	T	Kişisel Verileri Koruma Kanuna da uygun olacak şekilde verileri saklama ve imha politikası oluşturulacaktır.
3.4.1.5	K	IoT sistemleri ağa dahil edilirken sadece ilgili VLAN'ın erişmesi sağlanmaktadır. Ancak fiziksel güvenliğin olmadığı yerde yetkisiz cihazlar ağa bağlanabilmektedir.	T	IoT sistemlerinin bağlı olduğu Switch'lerde Port Security yapılandırması yapılarak port güvenliği sağlanacaktır. Ayrıca IoT cihazları erişim kontrol politikasına dahil edilecektir.
3.4.2.1	T	IoT sunucusu üzerindeki veriler düzenli olarak yedeklenmektedir.	T	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

3.4.2.2	Ç	IoT sistemlerinde depolanan verilere erişim sadece yedekleme sorumlusu tarafından yapılmaktadır. Ancak erişim yetkilendirmesi herhangi bir dokümanda tanımlanmamıştır.	T	Erişim kontrol politikasına yedekleme ile ilgili yetkilendirme süreçleri eklenecektir.
3.4.3.1	T	IoT sunucusu üzerinden cihazların oturumları sonlandırılabilir.	T	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.
3.4.3.2	K	Parola politikası dokümanında IoT cihazları için güçlü kimlik doğrulama için kurallar belirtilmemiştir. Ayrıca IoT sunucusu oturum açma ekranında kullanılan yönetici parolası kaba kuvvet saldırılarına karşı dayanıksızdır.	T	Parola politikası dokümanında IoT cihazları için güçlü kimlik doğrulama kuralları belirlenecektir. Sızma testi kapsamına IoT sunucusu da dahil edilecektir.
3.4.3.3	H	Kullanıcı hesapları tekil olacak şekilde oluşturulmamıştır. Sisteme erişim sağlayan üç sistem yöneticisi de aynı kullanıcı adı ve parola bilgisi kullanmaktadır.	T	Her kullanıcı için kendine ait ve kendisini benzersiz olarak tanımlayan bir kullanıcı hesabı tanımlanması yapılacaktır.
3.4.3.4	H	IoT cihazlarının IoT sunucusuna kaydolabilmesi için sunucu kimlik doğrulamada varsayılan kullanıcı adı ve parola bilgisi kullanılmaktadır.	T	Tüm IoT cihazlarda varsayılan kullanıcı adı ve parola bilgileri değiştirilecektir.
3.4.3.5	UD	Cihaz üzerinde sıfırlama mekanizması bulunmamaktadır.	UD	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

3.4.4.1	H	Bulut tabanlı bir API iletişimi bulunmamaktadır. IoT cihazlarında kimlik doğrulamada varsayılan kullanıcı adı ve parola bilgisi kullanılmaktadır.	T	Varsayılan kullanıcı adı ve parola bilgileri değiştirilecektir.
3.4.4.2	T	API ve bağlantılarda IP kısıtlaması yapılmaktadır.	T	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.
3.4.5.1	T	IoT sistem bileşenlerine ait yazılımların belirli periyotlarla güncel olup olmadığı kontrol edilmektedir. Gerekiyorsa manuel olarak güncellemeler yapılmaktadır.	T	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.
3.4.5.2	T	IoT cihazlarının konumlandırılması fiziksel erişim zor olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca kritik cihazların bulunduğu ortamlar güvenlik kameraları ile izlenmektedir.	T	Yapılması gereken herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

6.2.5. IoT varlık gruplarına yönelik uygulama yol haritasının oluşturulması

Tablo 9. ile ortaya konan IoT Sunucu varlık grubu için mevcut durum ve boşluk analizi çalışması, kurum üst yönetimine yeni sorumluluklar yüklemektedir. Bu çalışma sonrası kurumun Rehber uyumluluğu için yapması gereken faaliyetleri planlaması gerekmektedir. Yapılacak faaliyetler Rehber uygulama yol haritasının da kapsamını belirlemektedir. Bu çalışmada da özellikle tedbir maddeleri için yapılması gerekenler belirlenirken fayda-maliyet unsuru göz önünde bulundurulmuştur. Rehber’de belirtilen EK-C.4’teki form kullanılarak yapılması gereken iş paketleri açıkça belirtilmelidir. Bu çalışmada da Tablo 10.’daki IoT varlık gruplarına yönelik uygulama yol haritasının oluşturulmasında, Tablo 9.’daki tespitlerden yararlanılmıştır.

Tablo 10. IoT varlık gruplarına yönelik uygulama yol haritası

İş Paketi No	İş Paketi Adı	İş Paketinin Kapsadığı Faaliyetler	İş Paketi Hedefleri	
1	IoT Sunucu Güvenliği	Sıkılaştırma	2.Ay	Tüm IoT cihazlarında varsayılan kullanıcı adı ve parola bilgileri değiştirilecektir.
			3.Ay	IoT sistemlerinde her kullanıcı için kendine ait ve kendisini benzersiz olarak tanımlayan bir kullanıcı hesabı tanımlanması yapılacaktır.
			6.Ay	Switch'lerde Port Security yapılandırması için çalışma yapılacaktır.
		Dokümantasyon	7.Ay	Parola politikası dokümanında IoT cihazları için güçlü kimlik doğrulama kuralları belirlenecektir.
			8.Ay	Erişim kontrol politikası, IoT sistemleri ile ilgili kimlik yetkilendirme süreçleri kapsamında güncellenecektir.
			9.Ay	IoT cihazlarının kurulum ve yapılandırılması için prosedürler hazırlanacaktır.
			10.Ay	Verileri saklama ve imha politika dokümanı oluşturulacaktır.
		Hizmet Alımı	12.Ay	Dışarıdan sızma testi hizmet alımı yapılacaktır.
		Ürün Tedariki	15.Ay	Zafiyet yönetimi için açık kaynak yazılımlar belirlenip kullanılacaktır.
		Eğitim	18.Ay	Üç teknik personelin “Uygulamalı Sızma Testi Eğitimi” alması sağlanacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ulusal Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi; oldukça fazla teknik tedbirin yer aldığı, hemen hemen bilgi teknolojilerindeki her alana dokunduğu, güvenlik tedbirlerinin ürün ve teknolojiye bağımsız seçimine olanak verdiği, ortak mutabakat ile hazırlanması ve ulusal/uluslararası mevzuat ve standartlara uyumlu olması gibi özellikleri nedeniyle güçlü bir rehber niteliğindedir. Bu çalışmada da Rehber'in yapısı ve uygulama süreçlerinden bahsedilerek örnek bir senaryo üzerinden Rehber uyum çalışmasının nasıl yapılacağına dair gösterim yapılmıştır.

Ayrıca Rehber'in geliştirilmesine ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunmak için aşağıdaki tespit ve önerilere yer verilmiştir:

- TEMPEST gibi bazı güvenlik maddelerinin tedbir seviyesinin 1. veya 2. derecede olması kamu kurum ve kuruluşlarının fayda maliyet açısından uygulamasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla Rehber'deki tedbir seviyelerinin tekrar gözden geçirilip uygulayıcılarının çoğunun kamu kurumu olduğu da düşünülerek yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

- Rehber'deki tedbir maddeleri sadece insan ve teknoloji odaklı varlıklar dikkate alınarak belirlendiği için bilgi güvenliği yönetimine Rehber'de pek yer verilmemiştir. “Siber Olay Yönetimi”, “İş Sürekliliği Yönetimi”, “Kişisel Veri Yönetim Sürecinin İşletilmesi” gibi yönetsel konular Rehber'de yer alsa da risk yönetimi, süreç yönetimi, bütçe yönetimi gibi bilgi teknoloji süreçlerinde önemli etkiye sahip yönetim konuları bulunmadığı için kurumların bilgi güvenliğini sağlamada bütüncül bir yaklaşım ortaya koyması zor olacaktır.
- Rehber'de “Kritik Altyapılar Güvenliği” ve “Yeni Geliştirmeler ve Tedarik” ana başlıklarındaki güvenlik tedbirleri, Rehber'deki diğer ana başlıklara bakıldığında oldukça yetersiz görülmektedir. Özellikle kritik altyapıları ilgilendiren tedbir maddelerinin sektöre özel maddelerden oluşması gerekmektedir.
- Rehber'de yer alan işletim sistemleri, veri tabanları, web sunucuları ve sanallaştırma sistemlerine yönelik sıkılaştırma tedbirlerinin uygulanabilmesi için kurumların sıkılaştırma kılavuzlarını hazırlamaları gerekmektedir. Bu konuda CIS Benchmark dokümanlarından yararlanılabilese bile İngilizce ve çok detaylı olması nedeniyle bu dokümanlar, pratikte kurumlar tarafından doğrudan kullanılamamaktadır. Hali hazırda Türkçe sıkılaştırma kılavuzlarının olmaması, sıkılaştırma dokümanlarının hazırlanmasının oldukça zaman alması ve ayrı bir uzmanlık alanı olması nedeniyle genel olarak her kurumun kullanabileceği nitelikte sıkılaştırma kılavuzlarının Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından hazırlanıp kullanıma açık hale getirilmesi, Rehber'in uygulanabilirliğine katkı sağlayacaktır.
- Bilgi ve İletişim Güvenliği Denetim Rehberi'nde denetim faaliyetlerinin iç denetim yoluyla yapılması vurgulanmaktadır. Ancak kurumların belirli periyotlarla bağımsız dış denetime tabii tutulması gerekliliği ile ilgili herhangi bir açıklamada bulunulmamaktadır. Şeffaf, açık ve bağımsız dış denetim sürecinin belirlenmesi, kurumların denetim faaliyetlerine değer katacaktır.
- Kurumların Rehber'de belirtilen süreçleri yerine getiremediğinde veya tedbir maddeleri ile ilgili uygunsuzluk durumunda nasıl bir müeyyide ile karşılaşacağı açık bir şekilde ifade edilmemiştir. Ayrıca Dijital Dönüşüm Ofisi'nin sorumluluğunda olan Rehber uyumluluğu kapsamında gözetim faaliyetini nasıl gerçekleştireceği de tam olarak belli değildir. Bu durum yerleşik kamu kültüründe ataletle sebep olabileceği gibi Rehber'e uyum süreçlerini de yavaşlatacaktır. Yasal mevzuatın bu konudaki sorunlara çözüm olacak şekilde uygun hale getirilmesi gerekmektedir.
- Rehber'in hedeflerinden biri olan yerli ve milli siber güvenlik ürünlerinin kamuda kullanımının yaygınlaştırılması çalışmasını desteklemek için Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nde, kullanılabilir Türkiye Siber Güvenlik Kümelenmesinde yer alan yerli ürünler kataloğunun oluşturulması gerekmektedir. Ayrıca tedbir maddelerinin denetim faaliyetlerinde kullanılabilir açık kaynak yazılımların da Rehber'de belirtilmesi, sınırlı bütçeye sahip kamu kurum ve kuruluşları için büyük bir kolaylık olacaktır.
- Aralık 2022 sonuna kadar Rehber denetiminin kurumlarca tamamlanmasının akabinde, Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından hem Rehber uygulama sürecinde yaşanan sorunların ele alındığı hem de gelecekte ortaya çıkabilecek problemlere çözüm önerilerinin tartışıldığı kurumlar arası tecrübe paylaşım ortamının oluşturulması, Rehber uyumunda standartlaşmayı sağlayacaktır.

- Yeni oluşturulacak Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı'nda siber uzay güvenliği için kurumların Rehber uyum çalışmalarına ve denetim faaliyetlerine yer verilmelidir.

Bu çalışmayla ilk kez Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi bir makalede detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca Rehber'deki IoT güvenliğine yönelik tedbir maddeleri, simülasyon ortamı oluşturularak Rehber uygulamasının nasıl olacağı temsili bir kamu kurumu üzerinde gösterilmiştir. Özellikle Rehber'deki tedbir maddelerinin çokluğu ve tüm tedbir maddelerinin tek bir çalışmada ele alınmasının zorluğu nedeniyle bundan sonra yapılacak çalışmalarda Rehber'de yer alan diğer ana başlıklardaki güvenlik tedbirleri konu edilebilir. Bunun yanı sıra Rehber'in uygulanması ve denetimi ile ilgili kamu kurumları ile kritik altyapı niteliğinde hizmet veren işletmelere yönelik anket çalışması yapılarak kurumların Rehber'e bakışları ve Rehber uyumuna yönelik eğilimleri ele alınabilir.

Bu çalışmayla Ulusal Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi'nin daha fazla bilinip anlaşılmasına katkıda bulunmanın yanı sıra Rehber içeriğinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların sayısını arttırmaya öncülük etmesi temenni edilmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Bu çalışmada Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM, Doç. Dr. Muhammed Ali AYDIN fikir, eleştiri ve makalenin yazımı konusunda katkıda bulunmuştur. Muttalip TULGAR araştırma, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

TÜBİTAK BİLGEM Siber Güvenlik Enstitüsü'ne çalışmaya verdikleri destek için teşekkürü bir borç bilmekteyiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Ağdeniz, Ş. (2021). Bilgi ve iletişim güvenliği denetiminde kamu iç denetçilerinin rolü ve etkinliklerine ilişkin bir araştırma. *Alanya Akademik Bakış*, 5(2), 525-545.

Avcı, İ. (2022). Akıllı evlerde IoT teknolojileri ve siber güvenlik. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 34, 226-233.

Asma Haroon, Munam Ali Shah, Yousra Asim, Wajeeha Naeem, Muhammad Kamran & Qaisar Javaid. (2016). Constraints in the IoT: The world in 2020 and beyond. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (IJACSA, 7(11). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2016.071133>

CIS (Center for Internet Security) (2021). CIS Controls. <https://www.cisecurity.org/controls/cis-controls-list> adresinden 11 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.

- Cisco (2022). Cisco packet tracer frequently asked questions. <https://www.netacad.com/sites/default/files/cisco-packet-tracer-faq.pdf> adresinden 21 Haziran 2022 tarihinde alınmıştır.
- CMMC (Cybersecurity Maturity Model Certification) (2021). CMMC model overview. https://www.acq.osd.mil/cmmc/docs/ModelOverview_V2.0_FINAL2_20211202_508.pdf adresinden 05 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- CSA (Cloud Security Alliance), (2021). Cloud controls matrix. <https://cloudsecurityalliance.org/download/artifacts/cloud-controls-matrix-v4/> adresinden 11 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- DDO (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi) (2020). Bilgi ve iletişim güvenliği rehberi. https://cbddo.gov.tr/SharedFolderServer/Genel/File/bg_rehber.pdf adresinden 02 Nisan 2022 tarihinde alınmıştır.
- DDO (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi) (2021). Bilgi ve iletişim güvenliği denetim rehberi. https://cbddo.gov.tr/SharedFolderServer/Projeler/File/BG_Denetim_Rehberi.pdf adresinden 10 Nisan 2022 tarihinde alınmıştır.
- DDO (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi) (2021). TS EN ISO/IEC 27001:2017 Kontrolleri ile Bilgi ve İletişim Güvenliği Rehberi Eşleştirme Tablosu. <https://cbddo.gov.tr/SharedFolderServer/Projeler/File/ISO27001%20-%20BGR RehberEslestirmeTablosu.pdf> adresinden 17 Nisan 2022 tarihinde alınmıştır.
- ENISA (2017). Security aspects of virtualization. <https://www.enisa.europa.eu/publications/security-aspects-of-virtualization/@@download/fullReport> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- ISO/IEC 27001, 2017. Information technology -Security techniques - Information security management systems - Requirements
- Kaymas, S. (2020). Kamu yönetişiminin uzamı ve aracı olarak nesnelerin interneti politikaları üzerine bir değerlendirme. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (1) , 74-94 . DOI: 10.17336/igusbd.675949
- NIST SP 800-125 (2011). Guide to security for full virtualization technologies. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf> adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- NIST SP 800-82 (2015). Guide to industrial control systems (ICS) security. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf> adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- NIST SP 800-53 (2020). Security and Privacy controls for information systems and organizations. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r5.pdf> adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- OWASP (2021). OWASP application security verification standard. <https://github.com/OWASP/ASVS/raw/v4.0.3/4.0/OWASP%20Application%20Security%20Verification%20Standard%204.0.3-en.pdf> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.

- OWASP (2021). OWASP internet of things security verification standard. <https://github.com/OWASP/IoT-Security-Verification-Standard-ISVS> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- OWASP (2022). OWASP mobile app security checklists. <https://github.com/OWASP/owasp-mstg/releases/tag/v1.4.0> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Özdoğan, E. & Daş, R. (2021). IoT based a smart home automation system design: Simulation case. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9(3), 297-303. DOI: 10.17694/bajece.918826
- STIG (2022). STIGs document library. <https://public.cyber.mil/stigs/downloads/> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Thera, D. (2020). *Internet of things simulation using Cisco packet tracer* [Yüksek lisans tezi]. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü. İzmir.
- Ülker, M., Canbay, Y. & Sağiroğlu, Ş. (2017). Nesnelerin internetinin kişisel, kurumsal ve ulusal bilgi güvenliği açısından incelenmesi. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 10 (2) , 28-41.
- Wikipedia (2022). OWASP. <https://en.wikipedia.org/wiki/OWASP> adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Zeybek, M. & Yılmaz, E. N. (2019). Nesnelerin interneti: Risk temelli yaklaşım. *Denetim*, 0 (19), 73-88.



Araştırma Makalesi / Research Article

**FİLYOS LİMANI AÇISINDAN KARADENİZ'DE HİZMET VEREN
RÖMORKÖRLERİN SEVK SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR
DEĞERLENDİRME**

**AN ASSESSMENT ON TUGBOATS PROPULSION SYSTEMS OPERATED IN THE
BLACK SEA FROM THE POINT OF FİLYOS PORT**

Kerim ZİYLAN¹

Murat BAYRAKTAR²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbdb.1103507>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
bayraktarmurat@beun.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
14.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted
01.09.2022

Öz

En önemli taşımacılık sektörlerinden biri olan denizyolu taşımacılığında meydana gelen artış, doğal olarak yeni liman sahalarının kurulmasına yol açmaktadır. Son 10 yıllık süreçte, Türkiye'nin farklı bölgelerinde kurulu olan birçok liman, özellikle korona virüs pandemisinde, değerli malların taşınmasında tonaj bazında daha büyük paya sahip olan denizyolu taşımacılığının sürdürülebilirliği ve gelişimi için etkin rol almıştır. Karadeniz Bölgesinde kılavuzluk, römorkaj ve palamar hizmetleri, atık ve çöplerin tahliyesi, tatlı su ve elektrik tedarigi sağlayan birkaç liman bulunmaktadır. Filyos Limanı ise fiziki ve konumsal avantajları ile birçok alanda liman hizmeti verebilecek ve bölgenin artan taşımacılık ihtiyacının karşılanmasına önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca son yıllarda bölgede keşfedilen doğalgaz rezervleri de limanın potansiyel ve önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada Karadeniz Bölgesinde bulunan limanlar, boyutsal özellikleri ve verilen liman hizmetleri, özellikle römorkörlerle gerçekleştirilen temel alınarak ifade edilmektedir. Küresel çevre algısı, deniz taşıtlarında sürdürülebilirlik ve verimlilik, ulusal ve uluslararası düzenlemeler ve son yıllarda inşa edilen römorkörler dikkate alınarak, bu liman sahasında ileride hizmet verecek römorkörlerin sevk sistemleri hakkında değerlendirmeler yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Filyos limanı, römorkör, sevk sistemi.

Abstract

Growth in maritime transport, which is one of the most vital transportation sectors, naturally leads to establishment of new port areas. In last decade, many ports established in different regions of Turkey have taken an active role in sustainability and development of maritime transport, which has a larger share in the transportation of valuable goods on basis of tonnage, especially during coronavirus pandemic. Several ports in the Black Sea Region provide pilotage, tugboat and mooring services, discharge of waste and garbage, supply of fresh water and electricity. Filyos Port, moreover, will be able to provide port services in many areas with its physical and locational advantages and will make a significant contribution to meeting increasing transportation needs. Furthermore, natural gas reserves discovered in the region in recent years increase potential and importance of port. In this paper, ports in the Black Sea Region, dimensional features and provided port services are expressed on the basis of tugboats. Considering the global environmental perception, sustainability and efficiency in sea vehicles, national and international regulations and tugboats built in recent years, evaluations are made about the propulsion systems of tugboats that will serve in this port area in the future.

Keywords: Energy efficiency, Filyos port, propulsion system, tugboat.

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, İzmir, Türkiye. ziylankerim@gmail.com, [Orcid.org/ 0000-0002-9768-6891](https://orcid.org/0000-0002-9768-6891).

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Zonguldak, Türkiye, bayraktarmurat@beun.edu.tr, [Orcid.org/ 0000-0001-7252-4776](https://orcid.org/0000-0001-7252-4776).

1. GİRİŞ

Römorkörler, aktif veya kaza geçirmiş gemi, barç ve platform gibi deniz yapılarına yaslanıp iterek ya da bağlanıp çekerek hareket ve manevra kabiliyeti sağlamak amacıyla üretilmiş deniz taşıtlarıdır. Özellikle gemilerin limana yanaştırma/kaldırma operasyonlarında hizmet veren bu deniz taşıtları için, işletildiği bölgenin hava kalitesini olumsuz yönde etkilememek adına bu römorkörler üzerinde alternatif sevk sistemi ve yakıtlar ile ilgili yenilikçi uygulamalar kullanılmaktadır (Bayraktar ve ark., 2019; Hensen, 2018; Shipowners, 2015).

İlk römorkörler buhar makinesi ile sevk edilirken bugün doğalgaz ve elektrik ile sevk edilen römorkörleri görebilmekteyiz. Römorkörler genelde yerel koşullara ve belirli durumlara göre değişen bir denizcilik hizmetini karşılamak amaçlı özel olarak farklı donanımlarda üretilmekte ve bu durum dolayısıyla bir dizi römorkör tipinin geliştirilmesini sağlamaktadır (Hensen, 2018). Yine de çalışma alanlarına veya sevk sistemleri tercihine göre iki farklı şekilde sınıflandırılabilirler. Römorkörler çalışma alanlarına göre, Liman, Açık Deniz ve Nehir olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar. Bu ayırım, çalışma alanının karakteristik özelliklerine uygun kabiliyetlerdeki römorkörlerin üretilmeleri sonucu ortaya çıkmaktadır (Hensen, 2018; Shipowners, 2015).

Liman içerisindeki sınırlı alan ve/veya bir geminin manevra süresinin uzun olması sebebiyle limanlara gemilerin yanaştırılması ve ayrılması, kıçtan kara edilmesi ve döndürülmesi genelde römorkörler tarafından yapılmaktadır. Farklı büyüklükteki gemilerin olası ihtiyaçlarına göre farklı kabiliyetlerdeki römorkörler birlikte çalışabilmektedir. Liman yetkililerinin, beklenen gemi profillerini dikkate alarak, çekme-itme gücü ve manevra yeterlilikleri liman ihtiyaçlarına uygun römorkörler temin etmesi önem arz etmektedir. Gelişen teknolojilerle yüksek manevra ve destek yeteneğine sahip römorkörler sayesinde ihtiyaç birim iş başına ihtiyaç duyulan römorkör sayısında azalma meydana gelmektedir. Ayrıca römorkörlerin seçilmesi sırasında, limanın derinlik gibi fiziki özelliklerine dikkat edilmelidir. Farklı büyüklükteki gemilerin yanaştırılması sırasındaki güç ihtiyacı için olası senaryolar hazırlanması ve aktif işlere göre römorkörlerin çalışma planı yapılması liman operasyonları sırasında kolaylık sağlayacaktır. Liman römorkörleri çalışma alanı göz önüne alınarak düşük su çekimine “*draft*” ve mümkün olduğu kadar küçük boyutlarda tasarlanmaktadırlar. Ayrıca yaşam alanlarına ihtiyacın az olması sebebiyle bu alanlar daraltılarak stabilizeye ve boyutlandırmaya katkı sağlanmaktadır. Draft haricinde, römorkör baş, kıç ve bordo formları gemilere yaslanıp itme görevini yerine getirebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Çalışmamız Filyos limanı hakkında yürütüldüğü için bu sınıf römorkörler çalışmamızın temelini oluşturmaktadır (Deniz ve İşsular Düzenleme Genel Müdürlüğü, 2019; Hensen, 2018; Shipowners, 2015).

Açık Deniz Römorkörleri, deniz aşırı sefer yapabilecek, açık denizin zorlu koşulları karşısında yeterli kabiliyet gösterecek şekilde dizayn ve inşa edilir. Bu yüzden gruptaki en büyük ve genel anlamda özellikle yüksek manevra kabiliyeti sayesinde en donanımlı römorkörlerdir. Daha fazla yaşam alanına, depolama ve taşıma alanına sahiptirler. Yangın söndürme sistemleri veya helikopter pisti gelişmiş donanımlara sahip olabilirler. Açık denizdeki sorunlu gemiler veya platformların olası ihtiyaçlarına hizmet vermek için çalışmaktadırlar. Genelde yaslanarak itme görevi görmedikleri için baş formları açık deniz dalgalarını yaracak şekilde keskin hatlara sahiptir. Filyos limanı, Karadeniz’de bulunan doğalgaz rezervlerine en yakın ve gelişmiş liman olarak öne çıkmaktadır. Liman etrafına kurulmakta olan LNG platformları sebebiyle bu sınıf römorkörlerde önem arz etmektedir (Deniz ve İşsular Düzenleme Genel Müdürlüğü, 2019; Hensen, 2018; Shipowners, 2015).

Nehir Römorkörleri, denizlere göre nispeten daha düşük su derinliğine sahip nehir gibi sularda çalışmak üzere tasarlanmaktadır. Bu yüzden bu tip römorkörler çok daha düşük draftta sahip olmaktadır. Genelde nehirlerde barç çekimi gibi işlerde kullanılmaktadırlar (Hensen, 2018;

Shipowners, 2015). Tüm römorkör tipleri için, işletildikleri çevre koşulları, hizmet verdikleri gemi tipleri, liman ve açık deniz yapıları gibi farklı hizmet bölgeleri, nehir, kanal, köprü geçişi ve sığ su gibi oluşabilecek seyir karmaşıklıkları dikkate alınması gerekmektedir (Hensen, 2018).

Çalışma römorkörler açısından Filyos Limanı temelinde incelendiğinden dolayı limanın boyutsal özellikleri önem arz etmektedir. Filyos Limanının boyutsal özellikleri değerlendirildiğinde, ana mendirek boyu 2400m olan, talim mendirek boyu 1700m olan Filyos Limanı mendirekler iç alanının tek pare olmasıyla öne çıkmaktadır. İncelenen diğer limanlar genelinde parçalı rıhtım yapısının yaygınlığı dikkat çekmektedir. Bu limanların, genel olarak daha küçük bir limanda yapılan genişletme çalışmaları ile büyütülmesi veya farklı sebeplerle mendirekler arasında kalan karasal alanın farklı hizmetlere atanmasının rıhtım bütünlüğüne zarar verdiği görülmüştür. Filyos limanı ise Batı bölgesinden Doğu bölgesine doğru sırayla, 217m – 565m – 1540m – 682m şeklinde dört rıhtıma sahiptir. Filyos limanının fiziki özellikleri boyutsal birimlerle birlikte Şekil 1 de detaylı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1. Filyos Limanı Fiziki Özellikleri

Doğu ve Batı doğrultusunda ifade edilen rıhtımlar genel kargo ve konteyner terminali olarak belirtilmektedir. Yüksek draft sahip olan gemilere hizmet vermek amaçlı doğu ve batı doğrultusu boyunca sırasıyla 19m ve 14m derinliğe sahiptir. Tam boyu 400m uzunluğa ulaşan Dünya'nın en büyük konteyner gemi sınıfı olan Maersk firmasının kullandığı Triple-E Sınıfı konteyner gemileri ~16m su çekimine sahiptir. Ayrıca bu büyüklükteki mega konteyner gemilerinin yanaşabilmesi için en az ~500m rıhtım uzunluğuna ve 60-80m yükseklikte çalışabilecek vinçlere ihtiyaç duyacağı öngörülmektedir (Park & Suh, 2019). Bu yüzden su çekimi değerleri ve diğer boyutsal özellikleri açısından Karadeniz'de bulunan limanların içerisinde Filyos limanı ön plana çıkmaktadır.

Birçok açıdan kayda değer ayrıcalıklara sahip olacak bu limanda, gemilerin yanaştırma/kaldırma operasyonlarında, geçişlerde aktif rol oynayacak olan römorkörlerin özellikle sevk sistemlerinde sürdürülebilir teknolojik gelişmelerin ortaya konulması, yeni kurulacak Filyos limanında işletilecek römorkörler açısından farkındalık yaratılmasına ve seçim aşamasında değerlendirmenin kolayca yapılmasını sağlayacaktır. Bu sayede hem enerji verimliliği hem de küresel çevre politikaları açısından tüm düzenlemeleri sağlayan ihtiyaç duyulan optimum liman tasarımına römorkörler açısından katkıda bulunulacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yeni limanların kurulumu ve işletilme ihtiyaçlarının karşılanması doğrultusunda römorkör teknolojileri de sürekli gelişmeye devam etmektedir. Bu çalışmada, altyapı ve ekipman olanakları sürdürülmeye devam edilen Filyos Limanı özelinde kullanılacak güncel römorkör sevk teknolojileri değerlendirilmektedir. Birincil aşamada, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığının

istatistiksel verileri paylaştığı yıllık raporlar değerlendirilerek gros ton açısından işlem hacimleri ile gemi sayıları kayıt edilerek özellikle Zonguldak’ın bölgesel ve ulusal potansiyeli belirlenmekte, online uydu haritası servisleri sayesinde diğer limanların konumları ve fiziksel özellikleri tespit edilmekte; ayrıca, ilgili limanlara ait kurumsal internet adresleri üzerindeki raporlar ve paylaşımlar veri seti olarak değerlendirilmektedir. Filyos limanının Karadeniz kıyısındaki diğer limanlar ile kıyaslanmasını yapılarak fiziksel kabiliyetlerindeki farklılıklar belirlenmektedir. Filyos limanı ile Karadeniz’deki diğer limanlardan elde edilen farklılıklar doğrultusunda ikincil olarak, son yıllarda römorkaj hizmeti sağlamak amacıyla inşa edilen deniz taşıtlarının ana makine ve sevk sistemleri incelenerek, özellikle Filyos bölgesinde hizmet verebilecek römorkörler hakkında bilgi toplanmaktadır. Bu bulgular Filyos Limanı için özel olarak analiz edilmekte ve çalışmanın amacı doğrultusunda işlenmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Zonguldak bölgesindeki limanların ülkemiz limanları içerisindeki işlem potansiyeli değerlendirilmek amacıyla son beş yılda ve 2022 yılı ilk üç ayında Türkiye toplamı, Karadeniz kıyısındaki limanlar toplamı ve Zonguldak ile Kdz. Ereğli limanlarımıza ait veriler incelenmiştir. İncelenen veriler liman başkanlıkları bazında (Türk ve yabancı bayrak toplam) uğrayan gemi sayıları (uğrak gemi sayısı) ve gros tonaj kapasitelerinden oluşmaktadır. Bu verilerde Filyos limanı bölgesindeki işlem hacmi üzerine bir değerlendirme yapabilmek adına, Zonguldak ve Karadeniz Ereğli limanları payı özel olarak irdelenmiş ve Türkiye ve Karadeniz Bölgesi özelinde oranları Tablo 1’de sunulmuştur (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022).

Tablo 1. Limanlarımız İşlem Hacmi Üzerine Sayılarla Zonguldak ve Karadeniz Ereğli Limanları

Yıl	2022	2021	2020	2019	2018	2017
Türkiye Gros Ton	133156797	829618101	790881650	796266564	816797526	802435181
Karadeniz Gros Ton	6936561 (%5,2)	48236510 (%5,8)	46154695 (%5,8)	39469006 (%4,96)	39240468 (%4,8)	40953072 (%5,1)
Kdz. Ereğli Lim. Gros Ton	1239222 (%0,93)	9532736 (%1,15)	8281576,04 (%1,05)	7485391 (%0,94)	8606656 (%1,05)	8771401 (%1,09)
Zonguldak Lim. Gros Ton	1508605 (%1,13)	7615241,48 (%0,92)	7851525,85 (%0,99)	8191154 (%1,03)	7775595 (%0,95)	7254113 (%0,90)
Zong. + Kdz. Ereğli Toplam Yüzde	%2,06	%2,07	%2,04	%2,07	%2,0	%1,99
Zong. + Kdz. Ereğli Kdz. Yüzde	%39,61	%35,55	%34,95	%39,72	%41,75	%39,13
Türkiye Uğrak Gemi Sayısı	11946	51119	48821	55302	72360	73306

Karadeniz Limanları Uğrak G. S.	1278 (%10,7)	6620 (%12,9)	6659 (%13,6)	5952 (%10,76)	8184 (%11,3)	8530 (%11,6)
Kdz. Ereğli Lim. U.G.S.	179 (%1,50)	883 (%1,73)	825 (%1,69)	708 (%1,28)	911 (%1,26)	940 (%1,28)
Zonguldak Lim. U.G.S.	150 (%1,26)	704 (%1,38)	627 (%1,28)	615 (%1,11)	610 (%0,84)	611 (%0,8)
Zong. + Kdz. Ereğli Toplam Yüzde	%2,76	%3,11	%2,97	%2,39	%2,10	%2,12
Zong. + Kdz. Ereğli Kdz. Yüzde	%25,74	%23,97	%21,81	%22,23	%18,59	%18,18

Tablo 1 incelendiğinde 2017'den 2020'ye kadar uğrayan gemi sayısında bir azalma olduğu, 2020 itibarıyla tekrar artışa geçtiği görülmektedir. 2021 yılı incelendiğinde Türkiye'deki liman başkanlıklarına uğrayan gemi sayısının 51119 olduğu, ayrıca liman başkanlıkları bazında Zonguldak ve Karadeniz Ereğli limanlarına uğrayan gemi sayısı sırasıyla 704 ve 883, toplamda 1587 adettir. Bu sayı Türkiye gemi sayısının %3,11'ine, Karadeniz gemi sayısının ise %23,97'sine karşılık gelmektedir. 2022 yılı Mart ayı sonu itibarıyla, aynı koşullar için bu oranlar sırasıyla %2,76 ve %25,74 şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Zonguldak ve Kdz. Ereğli limanlarının Türkiye'de uğrayan gemi sayılarının yaklaşık ortalamasının %3, gros tonaj olarak ise %2 civarında olduğu Tablo 1'den okunabilmektedir. Ayrıca bu oranlar, Karadeniz kıyısındaki limanlar özelinde incelendiğinde gemi sayısı olarak %25 ve gros tonaj olarak %35-40 bandında karşımıza çıkmaktadır. Bu oranlar bölgenin mevcut işlem hacmi açısından önemini ortaya koymaktadır. Karadeniz'de bulunan ve Tablo 2 de incelenen liman başkanlıkları şu şekilde sıralanabilirler; Amasra, Ayancık, Bartın, Cide, Fatsa, Gerze, Giresun, Görele, Hopa, İnebolu, Karadeniz Ereğli, Karasu, Kefken, Pazar, Rize, Samsun, Sinop, Sürmene, Şile, Tirebolu, Trabzon, Ünye, Vakfıkebir, Zonguldak. Bu limanlar içerisinde başlıca büyük limanlara ait mendirek ve rıhtım bilgisi, yapılan liman hizmetleri ve diğer kritik bilgiler Tablo 2 de detaylı bir şekilde verilmiştir (Erdemir, 2017, 2021; Etibakır, 2021; Giresunport, 2021a, 2021b; Hopaport 2016, 2018; Riport, 2021; Samsunport, 2021a, 2021b; Trabzonport, 2021a, 2021b, 2021c).

Tablo 2. Karadeniz Kıyısındaki Limanların Teknik Özellik ve Yeterlilikleri

Limn Şehir	Mendirek ve Rıhtım Bilgisi (Uzunluk ve Derinlik)			Limn Hizmetleri	Diğer Bilgiler
Hopaport, Hopa/Artvin	Ana Mendirek: 2150 m	Cevher Rıhtımı 215m & 9,5 m Ro/Ro Rıhtımı 38m & 5,5 m Genel Kargo Rıhtımı 1 190m & 10 m		<ul style="list-style-type: none"> • Pilotaj, Römorkaj, Palamar Hizmetleri • Lashing (Bağlama) Hizmet • Atık Alımı • Çöp Alımı • Tatlı Su • Elektrik 	1346 m Rıhtım Uzunluğu 102.462 m ² Açık saha 18.220 m ² Kapalı alan 38.000 m ³ Tank terminal (6 adet için) 15.000 m ² Konteyner terminali 10.000 ton Tahıl depolama
	Tali Mendirek: 470 m	Genel Kargo Rıhtımı 2 100m & 9,5 m Genel Kargo Rıhtımı 3 198m & 10 m Genel Kargo Rıhtımı 4 180m & 4 m Balıkçı Rıhtımı 120m & 4 m Çimento Rıhtımı 100m & 5 m Tahıl Rıhtımı (SİLO) 200m & 9,5 m			
Riport, Rize	Yolcu & G, Kargo, Cevher Rıhtımı 200m & 12m			<ul style="list-style-type: none"> • Kılavuzluk Hizmetleri • Pilotaj H. • Depoculuk • Atık Alımı • Su Tedariği 	Rize Turizminde farkındalık projesi Parke Kaldırım Taşı H. 170000 m ² Açık saha Yük elleçleme (2.500.000 ton/yıl) Dökme Yük O. Depolama Alanları Konteyner Operasyonları Yapılmıyor.
	Yolcu & G, Kargo Rıhtımı 200m & 10m Ro-Ro Rıhtımı 30m & 6,5m Yolcu & Küçük Gemiler Rıhtımı 130m & 10m Balıkçı Teknesi Rıhtımı 270m & 3m				
Trabzonport, Trabzon	Rıhtım uzunluk toplamı (8 rıhtım) 2,235 m			Konteyner <ul style="list-style-type: none"> • Yükleme H. Dökme ve Kargo Yük vb. için <ul style="list-style-type: none"> • Tahliye H. • Taşıma H. • İstifleme H. Depolama H.	Kapalı Ambarlar: 24.000m ² 66.000 m ³ 70.000 t Açık Saha: 240.000 m ² 400.000 t Yıllık elleçleme: 10 milyon ton Yıllık depolama: 5 milyon ton Yıllık konteyner elleçleme: 350.000 TEU Yıllık konteyner depolama: 300.000 TEU Yıllık gemi kabul 2500 adet
	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Nolu Rıhtım 30m & 9m & 1,80 – 1,90 m y. • 2 Nolu Rıhtımı 400m&10m & 1,80 – 1,90 m y. • 3 Nolu Rıhtımı 580m&10m & 1,80 – 1,90 m y. • RO/RO Rıhtımı 25m&10m & 1,25 m y. • 4 Nolu Rıhtımı 290m&12m & 1,80 – 1,90 • 5 Nolu Rıhtımı 200m&2-5m & 1 m y, • 6 Nolu Rıhtımı 120m&2-3m & 1 m y, • 7 Nolu Rıhtımı 300m&6m & 1,50 – 1,60 m y. 				
Giresunport, Giresun	Rıhtım 800m & 10m 5 adet 40000 DWT	Barınma H.	Kılavuzluk H.	Ambar Kapağı Açma/Kapama H. Araç ve Ekipman Kiralama H. Ardiye H. Atık Alım Hizmeti Yükleme H.	Elleçleme Kapasitesi 3000000 ton/yıl Kuru Yük 1000000 ton/yıl Genel Yük Toplam Liman Sahası 94000 m ² Depolama Sahası 22 adet Kapalı Ambar 29800 m ² Gümrüklü Açık Alan 64200 m ²
		Boşaltma H.	Konteyner İç Dolu/Boşaltım H.		

		Terminal H. Yolcu ve Araç Çıkış H.	Liman İçi Aktarma H.	Shifting H. Yağ, Yakıt ve Su İkmali H.	
Samsunport, Samsun	Toplam Rıhtım Uzunluğu 1.756 m	<p>Ana Liman</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-2-3-4-5 nolu rıhtımların tamamı 776 m & 10 m • 6 nolu rıhtım 6,5 m d. • 7-8-9 nolu rıhtımlarının toplam uzunluğu 400 m & 6,5m <p>Sanayi Rıhtımı</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10-11-12 nolu rıhtımların 400 m & 11 m d. • WF-1 ve WF-2 rıhtımları 5 m d. 		<p>Kargo H. Proje ve Genel K. Dökme Katı(Bulk)/Sıvı Torbalı Katı (Dry Bulk) RO-RO/Yolcu T. Demir Yolu T. ve Demir Yolu Ferry H. Konteyner H.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tahliye/Yükleme • Depolama • Reefer Konteyner <p>Atık su/sintine Alımı Demir Yeri Değişirme Tatlı Su Verme Yakıt İkmali Elektrik T. Çöp Alım H.</p>	<p>CFS 30.000 m² Kapalı Depo 50.000 m² Geçici Depolama Sahası 320.000.m²</p>
	Toplam Vagon Ferry Uzunluğu 180 m				<p>2 adet 2200 bhp ye sahip 32 t çekme gücüne sahip modern ve manevra kabiliyeti yüksek romörkör</p> <p>2 adet 1500 bhp 17-21 t çekme gücüne sahip romörkör</p> <p>Karadenizde demiryolu bağlantısı olan tek liman Terminal Sahası 445.000m² Terminal Kapasitesi 250.000 TEU Yard Slot Sayısı 1240 TEU Reefer Priz Sayısı 224 adet reefer Tower , 238 adet Cfs alanı reefer plug</p>
İnebolu Limanı, Kastamonu	1 nolu rıhtım: Boy 90 m. Min. Su derinliği 4,5 m			<p>Yükleme/Boşaltma</p> <ul style="list-style-type: none"> • General Kargo • Dökme Katı • Dökme Sıvı <p>Barınma Hizmeti Palamar Hizmeti Atık Alma</p>	<p>Genel Kargo ve Dökme Yük Elleçlemeleri 10.000 DWT kadar</p>
	2 nolu rıhtım: Boy 200 m. Min. Su derinliği 5.7 m				
Erdemir Limanı, Zonguldak	3 nolu rıhtım: Boy 185 m. Min. Su derinliği 7.5 m			<ul style="list-style-type: none"> • Dökme Katı, • Dökme Sıvı, Genel Kargo, Proje Kargo, Ro-Ro • Terminal Hizmetleri 	<p>Dökme Katı Yük (MT / yıl) 13750000</p> <p>Genel Kargo Yük (MT / yıl) 6.250.000</p> <p>Dökme Sıvı Yük (MT / yıl) 250</p> <p>20.000.000 ton elleçleme kapasitesi</p>
	<p>Rıhtım Uzunluğu: 1.670 m Antrepo Sahası: 139.000 m² Max. Draft: 20 m Toplam Liman Sahası: 750.000 m² Kapalı Sundurma: 3.000 m²</p> <ul style="list-style-type: none"> • No:1 Dökme Yük Tahliye Rıhtımı 405m & 10,5m & 60000 DWT • No:1 Genel Kargo Rıhtımı 295m & 9,5m & 40000 DWT 				<p>139.000 m² kapasiteli genel antrepou</p>

<ul style="list-style-type: none"> • No:2 Dökme Yük Tahliye Rıhtımı 350m & 20m & 200000 DWT • No:2 Genel Kargo Rıhtımı 300m & 14m & 63500 DWT • No:3 Genel Kargo Rıhtımı 170m & 6,5m & 4000 DWT • No:4 Genel Kargo Rıhtımı 150m & 9,5m & 15000 DWT • Ro-Ro Rıhtımı 23m & 14m & 20000 DWT • Tren Feri Rıhtımı 28m & 10m & 8500DWT 	<ul style="list-style-type: none"> • Depolama Hizmetleri • Gemi Acenteliği Hizmeti • Römorkaj, Pilotaj, Palamar, Barınma Hizmetleri • Güvenlik Hizmetleri • Atık Alım Hizmetleri 	<p>405 ve 350 m iki dökme yük rıhtımı 200000 DWT</p> <p>295, 300, 170 ve 150 m dört genel kargo rıhtımı 60.000 DWT</p> <p>Uluslararası standartlarda RO-RO ve tren ferisi rıhtımları 100 tonluk römorkaj gücü</p> <p>3 adet Römorkör, 1 adet pilot botu, 2 adet palamar botu</p>
--	---	--

Tablo 1 ve Tablo 2 verilerini oluşturan limanlar incelenerek, Karadeniz Bölgesinde hizmet veren römorkörlerin tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. Bunun için deniz taşıtlarının Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) verileriyle oluşturulan anlık haritalar kullanılmıştır. Bu haritalarda Karadeniz limanları bölgesinde işletilen römorkörler tespit edilmekte, IMO numarası ve gemi adları kullanılarak üreticilerinin verileri ve çeşitli kaynaklardan römorkörlerin inşa yılları, boyları, genişlikleri, çeki güçleri, ana makine güçleri ve sevk sistemleri bulunmakta ve Tablo 3 oluşturulmaktadır.

Tablo 3. Karadeniz Limanlarında İşletilen Römorkörlerin Başlıca Özellikleri

No	Gemi Adı	Yapım Yılı	Boy (m)	Genişlik (m)	Çeki Gücü (t)	Ana Makine Gücü (kW)	Sevk Sistemi
1	DILOVASI VII	1998	18,28	6,7	30	716*2	Sabit Piçli (FPP) Kort Nozullu Pervane
2	KROMAN M	2000	18,29	7	29-30	716*2	Sabit Piçli Kort Nozullu Pervane
3	POLIPORT M	2001	18,29	7	29-30	716*2	Sabit Piçli Kort Nozullu Pervane
4	TAMARA I	2001	25	9	40	1100*2	Sabit Piçli Nozullu Pervane
5	CEY I	2009	18	7	30	820*2	Sabit Piçli Nozullu Pervane
6	CEY II	2010	18	7	30	820*2	Sabit Piçli Nozullu Pervane
7	TASKOMU RU 1	2014	26	10,1	45+	1340*2	Kumanda edilebilir piçli pervane sistem (CPP)
8	ALBAYRA K 61	2015	18	7	32,5	1040*2	Sabit Piçli Pervane (FPP)
9	EREN ENERJİ III	2015	24,4	11,25	60	1765*2	Azimet İtici “Azimuth Stern Drive” (ASD)
10	MED İZMIT	2016	25,3	12	67,38	1800*2	ASD
11	MED XXIV	2018	2	11	56,45	1,380*2	ASD
12	MED XXV	2018	2	11	54,8	1,380*2	ASD
13	MED XXXII	2020	18	10	32,15	895*2	ASD
14	MED XXXIII	2020	18	10	32,15	895*2	ASD

Çalışma alanlarının fiziki özellikleri, ekonomik sebepler, teknolojik gelişmeler, ekstra ihtiyaçlar gibi birçok etken römorkörlerde kullanılan sevk sistemlerini çeşitlendirmiştir. 1998 ve 2020 yılları arasında inşa edilen ve Karadeniz Bölgesinde hizmet veren römorkörlerin sevk sistemlerinde FPP, Kort Nozullu FPP ve CPP ile ASD kullanılmaktadır.

Kanat açısı değiştirilemeyen (FP) tek ve çift pervaneli klasik römorkörler yaygın olarak bilinmektedir. Özellikle bu pervanelerin çevresinde dairesel bir şekilde pervane boyunca uzayan ve Kort Nozul olarak tanımlanan kanal, römorkörlerde ve balıkçı gemilerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kanal sayesinde pervane üzerine gelen akışın hızı değişmekte ve böylece performans açısından iyileştirilmiş itme sağlanmaktadır. Özellikle düşük gemi hızlarında sabit kanat açılı (FP) ve kanat açısı değiştirilebilen (CP) pervanelerin üzerine gelen akışı düzenlemekte ve pervanenin yüzeylerinde oluşan alçak/yüksek basınç kayıplarını minimize ederek çeki gücünü %30 oranında artırabilmektedir. CP pervanelerin bakım-tutum ve maliyet açısından dezavantaj sağlamasına karşın, makine devri değiştirmeden istenilen gücü sağlama potansiyeli önemli oranda yakıt tüketiminden fayda sağlamakta ve daha esnek bir yapıya sahip olmaktadır. Ayrıca bu tip römorkörlerde manevra kabiliyetini arttırmak için baş iticilerin kullanılmaktadır (Kort Propulsion, 2021; Rolls-royce, 2017; Sandy, 2018; Shipowner, 2015; Wartsila, 2021).

Sevk sistemlerinde, pervane ve nozul haricinde bir de dümen yelpazesi kullanılabilir. Pervaneye gelen veya pervaneden çıkan akışın yönünü değiştirerek manevra kabiliyeti yüksek sevk sağlamak veya manevra performansını arttırmak amacıyla, tasarıma göre gerek pervane öncesinde gerek pervane ardında veya her iki konumda da farklı sayılarda bu kanatçıklar kullanılabilir (Hensen, 2018). Lakin işleyen parça sayısının artması, yüzey temizliğinin sağlanması gibi bakım tutum maliyetlerinin artması da bu sistemlerin dezavantajı olarak görülebilmektedir.

Son yıllara bakıldığında ise Azimuth kış iticili “Azimuth Stern Drive” (ASD) tipi sevk sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Dizel veya elektrikli sevk sistemlere adapte edilebilen ASD, uzaktan kontrol sistemi ile dikey eksen etrafında 360 derece dönebilmekte ve bu sayede deniz taşıtlarına oldukça yüksek manevra kabiliyeti sağlamaktadır. Ayrıca dağınık bir yerleşim yerine kapalı kutu diye tabir edebileceğimiz ve lokal olarak montajı yapılabilen bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Sağlam ve basit yapısı ile işletilme süresi boyunca yüksek güvenilirlik, düşük bakım-tutum maliyetleri ve düşük emisyon değerlerini beraberinde getirmektedir. Düşük ve orta hızlı gemiler üzerinde birçok uygulaması olan bu sistemler, römorkörlere itme ve çekme durumunda rota stabilitesi sağlayarak maksimum verimlilikte operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Ayrıca düşük su çekiminde kullanılabilmesi, kurulum bölgesinin römorkörün dinamik dengesine sağladığı avantaj bu tip sevk sistemlerinin römorkörlerde kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Rolls-royce, 2017; Schottel, 2021; Wartsila, 2021).

Geleneksel dizel enerji kaynağı yerine alternatif enerji kaynaklarının son yıllarda kullanılmaya başladığı dikkat çekmektedir. GİSAŞ-NAVTEK ortak ARGE projesi olan ve 2020 yılı başında teslimi gerçekleştirilen GİSAŞ POWER isimli römorkör, dünyanın ilk tamamıyla elektrikli römorkörü olması sebebiyle öne çıkmaktadır. Enerji depolama sistemi olarak 1 saatten az sürede şarj edilebilen ve yaklaşık 10 yıl işletilme süresine sahip lityum-iyon bataryaların kullanıldığı 2*925 kW elektrik motoru ile sevk edilen dünyanın ilk elektrikli römorkörü “Gisaş Power” sayesinde, yılda 9 ton NO_x ve 210 ton CO₂ emisyonlarından düşüş sağlanmaktadır (Gisaş, 2020; Navtek, 2020). Ayrıca projenin unsurlarından olan Zeetug firmasının (Utikad, 2020) ve NAVTEK firmasının referans listesine (Navtek, 2021) göre ikisi 30t ve üçüncüsü 45t çeki gücüne sahip üç ayrı tamamen elektrikli römorkörün daha 2022 yılı içerisinde GİSAŞ’a teslim edileceği öngörülmektedir (Zeetug, 2021). SANMAR tarafından üretilen ve 2014 yılında Norveç’te hizmetine başlayan Borgøy & Bokn dünyanın ilk sıvılaştırılmış doğalgazla (LNG) sevk edilebilen

römorkörü olmasıyla öne çıkmaktadır. CO₂ ve NO_x emisyonlarında sırasıyla %26, %80-90 indirgenme sağladığı belirtilmiş ve 70 ton çekme gücüne sahip bu römorkörde ASD sevk sistemi kullanılmaktadır (Sanmar, 2015). Ülkemizin başlıca üreticilerinin, son 5 yıl içerisinde (2017-2021) ürettikleri tespit edilen 147 adet römorkörün %88,4 ünde ASD sevk sistemi kullandığı tespit edilmiştir (Medmarine, 2021; Sanmar, 2021; Uzmar, 2021). Kullanılan ana makinelerin büyük çoğunluğunun Tier-II ve Tier-III emisyon standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Römorkörler için sınıflandırılan her bir sevk sisteminin işletileceği bölgeye, istenilen hız ve manevra kabiliyetine, bakım –tutum aralıklarına, yedek parça desteğine, kurulum maliyetlerine göre birbirlerine üstünlükleri bulunmaktadır. Ulusal ve uluslararası düzenlemeler göz önünde bulundurularak, römorkör tasarımı ve inşaatı yapan tersaneler ile römorkör işletmecileri ve armatörler değerlendirme yaparak, ihtiyaç ve kabiliyetlerine göre hangi tip römorkörün hangi sevk sistemiyle donatılmasına karar vermektedir. Özellikle üstün manevra kabiliyeti ve küresel çevre algısı dikkate alındığında emisyonlar konusunda önemli bir kazanım sağlanmasını destekleyen ASD sevk sistemi, gelişen teknolojik hareketlerle birlikte maliyetlerinin daha düşük seviyelere çekilmesi planlanmakta olan yüksek kurulum ve bakım-tutum maliyetlerine karşın ön plana çıkmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2021 yılı sonu itibarıyla Türk ve yabancı bayraklı gemi sayısı, liman başkanlıkları bazında toplamda 51199 adet gemi ilgili limanlara uğramaktadır. Karadeniz kıyısındaki limanlar bu sayının %12,74 karşılıkta (T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2021). Zonguldak ve Kdz. Ereğli limanlarının Türkiye’de uğrayan gemi sayılarının yaklaşık ortalamasının %3, gros tonaj olarak ise %2 civarında olması, Karadeniz kıyısındaki limanlar özelinde ise gemi sayısı ortalamasının %25 ve gros tonaj olarak %35-40 bandında ortalamaya sahip olması bu iki limanın ülkemiz ve Karadeniz bölgesindeki önemini ortaya koymaktadır. Bu oranlar bölgenin mevcut işlem hacmine dair fikir yürütmemize imkân sağlamaktadır.

Filyos limanının yeni çalışma imkanları sunması ile boğazlar ve Marmara bölgesinin yükünü paylaşabilecek olması, bu yüzdelerin kolaylıkla artabileceğini göstermektedir. Ayrıca, liman sahasında ve çevre bölgelerde kurulacak olan sanayi ve ticaret kuruluşları ile birlikte önemli bir istihdam artışı ve çevresel olanakların zenginleştirilmesi ön görülebilmektedir. Filyos limanında zaman içerisinde gerçekleşecek olan bu yüksek iş yükünü sırtlayacak olan römorkörler açısından ise, literatürde ve uygulamalarda elde edilen bilgiler ışığında, yüksek manevra kabiliyeti, yüksek çeki gücü ve inşadaki yüksek paydası gibi önemli yönleri neticesinde Filyos limanında ASD tipi sevk sistemine sahip römorkörlerin kullanımı önemli bir tercih olarak öne çıkmaktadır. Son beş yılda inşa edilen römorkörlerde %88,4 oranıyla en çok tercih edilen ASD tipi sevk sisteminin, gelecekte üretilecek römorkörler için daha iyi bir sistem bulunana kadar kullanımın artacağı da değerlendirilmektedir. Ayrıca küresel çevre algısı açısından özellikle karaya çok yakın bölgelerde çalışan römorkörlerde, alternatif yakıtlara yönelimler gözlenmiştir. LNG yakıtla ve sıfır emisyon sağlayan elektrikli sistemlerle sevk edilen römorkör projelerinin dünyada ilk defa Türkiye’de gerçekleştirilmesi ile birlikte son beş yılda Türkiye’de üretilen 147 adet römorkörün 99 tanesinin ihraç edilmesi; bu alanda sürdürülecek çalışmalarını destekler niteliktedir (Medmarine, 2021; Sanmar, 2021; Uzmar, 2021). Ek olarak, Filyos limanı yakınlarında tespit edilen doğalgaz kaynaklarının çıkarılması ve işlenmesi sonucunda, düşük emisyon değerlerine sahip LNG yakıtla sevk edilen römorkörlerin potansiyelinin ülkemizde üzerine durulması gereken konulardan birisi olduğu düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çatışma Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Bayraktar, M., Fidan, C. Ö. B., & Cerit, A. G. (2019). Yakıt tipinin ve hibrit sevk sisteminin yakıt tüketimine etkisi: İzmir alsancak limanında bir hizmet gemisi için uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*. 11, 33-52. <https://doi.org/10.18613/deudfd.565134>
- Deniz ve İçsular Düzenleme Genel Müdürlüğü (2019). Gemi sicili için gemi cinsleri tanımlamaları. <https://denizcilik.uab.gov.tr/uploads/pages/gemi-cins-tanimlari/gemi-cins-tanimlari.pdf> adresinden 18 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- Erdemir (2017). Erdemir liman bilgilendirme kılavuzu. https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/ERDEMIR_LIMAN_KILAVUZU_TURKCE_27.01.2017-1315.pdf adresinden 12 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Erdemir (2021). Hizmetler. <https://www.erdemir.com.tr/kurumsal/urun-ve-hizmetler/hizmetler/> adresinden 09 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Etibakır (2021). Hizmetlerimiz. <http://ineboluliman.com/> adresinden 09 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Giresunport (2021a). Liman özellikleri. <https://www.giresunport.com.tr/hakk%C4%B1m%C4%B1zda> adresinden 11 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Giresunport (2021b). Giresunport liman işletmeciliği A.Ş. hizmet kalemleri listesi. https://65c60451-2670-4c83-939a-32992b8285ce.filesusr.com/ugd/7a0d24_7b3dc3a487344a908455bf396a806f94.pdf adresinden 15 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Gisaş (2020). Gisaş power elektrikli römorkör. <https://www.gisasgemi.com/gisaspower202005/> adresinden 21 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Hensen, H. (2018). Tug use in port: A practical guide. *STC Publishing*, Utrecht.
- Hopaport (2016). Hopaport. <http://www.hopaport.com.tr/wp-content/uploads/2016/05/hopaport-katalog.pdf> adresinden 24 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Hopaport (2018). Tanıtım ve tarihçe. <http://www.hopaport.com.tr/wp-content/uploads/2018/10/HOPAPORT-SUNUM-2018.pdf> adresinden 23 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.

- Kort Propulsion (2021). Kort nozzles and propellers. https://www.kortpropulsion.com/products/kort-nozzles_ adresinden 01 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Medmarine (2021). References. <https://www.medmarine.com.tr/references-tugboats.html> adresinden 14 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Navtek (2020). Zeetug zero emission tugboat. <https://www.navtek.net/assets/front/img/blog/1610609616.pdf> adresinden 24 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- Navtek (2021). Commercial projects references. <https://www.navtek.net/references> adresinden 11 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Park, N.K. & Suh, S.C. (2019). Tendency toward mega containerships and the constraints of container terminals. *Journal of Marine Science and Engineering*. 7(5), 131. <https://doi.org/10.3390/jmse7050131>
- Riport (2021). Kurumsal Hizmetlerimiz. <https://www.riport.com.tr/> adresinden 19 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Rolls-Royce (2017). Marine products and systems. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/marine-product-finder/MPS%202017%20LR.pdf> adresinden 16 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Samsunport (2021a). Hizmetler. <https://www.samsunport.com.tr/tr/hizmetlerimiz/konteyner-hizmetleri> adresinden 02 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Samsunport (2021b). Terminal bilgileri. <https://www.samsunport.com.tr/tr/terminal-bilgileri/terminal-tanimi> adresinden 02 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Sandy, S. (2018). Operating controllable pitch propellers (CPP) in Kort Nozzles. <https://www.seawaysglobal.com/operating-controllable-pitch-propellers-cpp-in-kort-nozzles/> adresinden 11 Ekim 2021 tarihinde alınmıştır.
- Sanmar (2015). LNG powered escort tug. <https://www.sanmar.com.tr/portfolio-items/lng-powered-escort-tugs/> adresinden 21 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Sanmar (2021). Sanmar shipyards reference list. <https://www.sanmar.com.tr/tug-boat-deliveries/> adresinden 16 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Schottel (2021). Schottel rudder propeller. <https://www.schottel.de/en/portfolio/products/product-details/srp-schottel-rudderpropeller> adresinden 11 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Shipowners (2015). Tugs and tows – A practical safety and operational guide. <https://www.shipownersclub.com/> adresinden 7 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2022). Gemi istatistikleri. <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/gemi-istatistikleri> adresinden 11 Nisan2022 tarihinde alınmıştır.

- Trabzonport (2021a). Açık kapalı ambar alanları. <https://trabzonport.com.tr/acik-kapali-ambar- alanlari/> adresinden 10 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Trabzonport (2021b). Liman kapasitesi ve fiziki durum. <https://trabzonport.com.tr/liman- kapasitesi-ve-fiziki-durum/> adresinden 11 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Trabzonport (2021c). Rıhtımlar. <https://trabzonport.com.tr/rihtimler/> adresinden 12 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Utikad (2020). Lojistik sektörü raporu. <https://www.utikad.org.tr/images/HizmetRapor/utikadlojistiksektoruraporu2020-53923.pdf> adresinden 10 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Uzmar (2021). References. <https://uzmar.com/references/> adresinden 14 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Wartsila (2021). Kort Nozzle. <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/kort-nozzle> adresinden 08 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.
- Zeetug (2021). Within 2022, 4 zeetugs will be on oceans. <https://www.zeetug.com/post/within-2022-4-zeetugs-will-be-on-oceans> adresinden 14 Eylül 2021 tarihinde alınmıştır.



Araştırma Makalesi / Research Article

**TÜRKİYE'DE YETİŞTİRİLEN CITRUS MAXIMA (ŞADOK)
MEYVESİNİN ATIK KISIMLARINDAKİ ANTİOKSİDAN, FENOLİK VE
FLAVONOİD MADDE MİKTARLARININ BELİRLENMESİ**

DETERMINATION OF ANTIOXIDANT, PHENOLIC AND FLAVONOID AMOUNTS IN
THE WASTE PARTS OF CITRUS MAXIMA (SHADDOCK) FRUIT GROWN IN TÜRKİYE

Abayhan BURAN¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1087234>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
a.buran@firat.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
13.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
13.10.2022

Öz

Bu çalışmada Türkiye’de yetiştirilmiş *Citrus maxima* (Şadok) meyvesinin gıda tüketim atığı olarak nitelendirilebilecek dış kabuk ve albedo kısmının antioksidan, fenolik ve flavonoid madde miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Meyve kısmından ayrılan atık parçalar kurutulmuş etanol, metanol ve saf su ile ekstrakte edilmiştir. Dış kabuk ekstraktlarından elde edilen sonuçlara göre fenolik madde için en yüksek değer 59.64 ± 1.95 mg/g Gallik Asit Eşdeğeri, flavonoid madde miktarı için 36.56 ± 1.75 mg/g Quercetin Eşdeğeri ve antioksidan madde miktarı için en yüksek değer 2.37 ± 0.50 mmol/g Trolox Eşdeğeri Antioksidan Kapasite olarak elde edilmiştir. Albedo ekstraktlarından elde edilen sonuçlara göre fenolik madde miktarı için en yüksek değer 77.72 ± 2.56 mg/g GAE, flavonoid madde miktarı için 52.91 ± 2.99 mg/g QE ve antioksidan madde miktarı için en yüksek değer 1.19 ± 0.11 mmol/g TEAC olarak elde edilmiştir. Çözücülerin kıyaslamaları grafik olarak verilmiştir. Bu sonuçlarla birlikte atık olarak değerlendirilebilecek şadok kabuklarının fenolik madde, flavonoid madde içerdiği ve antioksidan aktivite gösterdiği ortaya konmuştur. Bu sonuçlar zaman ve ekonomik tasarruf açısından ilerideki çalışmalara yol gösterebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan, *Citrus maxima*, fenolik, flavonoid, şadok.

Abstract

In this study, it was aimed to determine the amount of antioxidant, phenolic and flavonoid substances in waste parts of the *Citrus maxima* (Shaddock) fruit grown in Turkey. According to the results obtained from the peel extracts, the highest value was 59.64 ± 1.95 mg/g Gallic Acid Equivalent for phenolic substance; 36.56 ± 1.75 mg/g Quercetin Equivalent for the flavonoid substance, and 2.37 ± 0.50 mmol/g Trolox Equivalent Antioxidant Capacity for the amount of antioxidant substance was obtained. According to the results obtained from the albedo (pith) extracts, 77.72 ± 2.56 mg/g GAE was the highest value for the amount of phenolic substance, 52.91 ± 2.99 mg/g QE was the highest value for the amount of flavonoid substance, and 1.19 ± 0.11 mmol/g TEAC was the highest value for the amount of antioxidant substance. With these results, it has been revealed that shaddock peels contain phenolic and flavonoid substances and antioxidant activities. In terms of time and economic savings in studies, these results will lead to future studies.

Keywords: Antioxidant, *Citrus maxima*, flavonoid, phenolic, shaddock.

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Elazığ, Türkiye.
a.buran@firat.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-4204-8638.

1. GİRİŞ

Bilimsel gelişmelere ve küreselleşmeye rağmen, tıbbi bitki bazlı ilaç keşfi, çeşitli farmakolojik aktivitelerin araştırılmasında ve yeni ilaçların keşfinde hala önemli bir rol oynamaktadır. Aslında, bitkisel ilaçlar, nutrasötikler, bitkisel ilaçlar ve çeşitli dozaj formlarında bitki bazlı farklı müstahzarlar, ilaçların geliştirilmesi için etkili ve güvenli tamamlayıcı ve alternatif tedavilerin keşfini ve geliştirilmesini amaçlayan araştırmacılar, bitkisel ve nutrasötik endüstriler tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır.

Oksidatif stres, hücresel sistemde reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi sistemin antioksidan kapasitesini aştığında meydana gelir. Oksidatif stresin diyabet, kanser, nörodejeneratif hastalıklar ve solunum yolu bozukluğu gibi çok sayıda hastalığın yaşlanma ve patogeneğinde önemli bir katkı rolü oynadığı bildirilmektedir (Anderson ve ark., 2000). Oksidatif strese karşı koyabilmek adına vücut antioksidanlardan yararlanır. Dokulara ve hücrelere zarar verecek reaktif serbest radikalleri nötr hale getirmek ya da uzaklaştırma antioksidanların işidir. Yüksek seviyedeki antioksidan durumu vücutta hasara yol açabilecek serbest radikalleri ve onların sebep olabileceği zincirleme hastalık geliştirme risklerini azaltabilmektedir. Vücuttaki antioksidan üretimi yeterli olmamaktadır. Bu sebeple besin yoluyla vücuda antioksidan takviyesi vücudun savunma mekanizmalarını güçlendirecektir (Rattan, 2006).

Şadok olarak da bilinen *Citrus maxima* bir narenciye türüdür. Küre, basık ya da armut biçimindedir ve diğer narenciyelere kıyasla oldukça büyük bir meyvedir. Kabuk rengi olgunluk dönemiyle ilişkili olarak yeşil-sarı ve sarı- açık pembe tonlarında değişmektedir. Kabuk kısmı ile meyve arasında kalın bir tabaka bulunur. Meyve kısmı kolayca ayrılabilen lif yapılı koyu renkli ve suludur. Greyfurt ile yakından ilişkilidir, ancak soğuğa çok daha az dayanıklıdır. Çin greyfurtu olarak da bilinir. Bu meyvenin anavatanı Güneydoğu Çin’dir. Ancak Batı Afrika ülkelerinde de ilginç meyveleri ile birlikte süs ağacı olarak da kullanımı mevcuttur. Çekirdekli bir cinstir. Reçeli ve marmelatı da yapılır. Özellikle bir lezzettir ve çok sınırlı bir üretimi bulunur. Kabuk ve kabuk ile meyve arasındaki beyaz kısım genel olarak tüketilmemektedir. Atık olarak değerlendirilebilecek bu kısımların antioksidan madde kapasitesi, fenolik ve flavonoid madde miktarlarının bilinmesi, bu kısımların değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada Finike-Antalya, Türkiye’de yetiştirilen şadok meyvesinin atık olarak değerlendirilen kısımlarının antioksidan aktivite analizi, toplam flavonoid ve fenolik madde analizi etanol, metanol ve saf su olmak üzere üç çeşit çözücüde değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İnsan ve doğa arasındaki bağ binlerce yıldır varlığını sürdürmektedir. Bu bağlantı, tıbbi özelliklere sahip çok çeşitli bitkilerin keşfedilmesine ve sayısız hastalığın tedavisinde ve iyileştirilmesinde kullanılmasına yol açmıştır. Şifalı bitkilerin kullanımı insanlık tarihi kadar eskidir. Dünya Sağlık Örgütü’ne göre, botanik bahçesi hala dünya nüfusunun %80’inin bir güven kaynağıdır ve birçok ilaç kökenini şifalı bitkilere borçludur (Tilburt & Kaptchuk, 2008).

Bitkisel ürünlerin sağlık ve gıda korunumunu arttırmak için antioksidan kaynağı olarak ticari gelişimi, dünyanın ilgi alanına girmektedir (Rice-Evans ve ark., 1997). Epidemiyolojik çalışmalar, fenolik açıdan zengin yiyecek ve içeceklerin tüketimi ile hastalıkların önlenmesi arasında pozitif ilişki olduğunu göstermektedir (Scalbert & Williamson, 2000). Bu etkiler, diğerleri arasında flavonoidler ve fenilpropanoidler de dahil olmak üzere bitki fenolikleri gibi antioksidan bileşenlere atfedilmektedir (Rice-Evans ve ark., 1996).

2.1. Antioksidanlar

Antioksidanlar vücuttaki denge konsantrasyonunun altına düştüğü zaman, insan vücudunda yıkıcı hastalıkların başlamasını veya artmasını tetikleyen oksidatif reaktiflerin sebep olacağı rahatsızlıkları önleyen ya da etkisini azaltmaya yarayan maddelerdir. Antioksidanlar, vücudun sağlıklı bölgelerindeki reaktiflerin neden olduğu hasara karşı vücudu koruyarak hastalık riskini azaltmak ve sağlığı desteklemek için kullanılır. Bu antioksidanlar, serbest radikal temizleyiciler, tekli oksijen emiciler, peroksit etkisizleştiriciler, metal iyonu şelatlayıcı maddeler, ikincil oksidasyon ürünlerinin sönmüleyicileri ve prooksidatif enzimlerin inhibitörleridir (Shahidi & Zhong, 2007).

Bir antioksidanın serbest radikallere ve reaktif oksijen türlerine (ROS) karşı esas reaktivitesini yani antioksidan aktiviteyi antioksidanın kimyasal yapısı belirler. Konsantrasyon durumu ve buldukları sistem bakımından antioksidanların etkinliği farklı olabilir (Shahidi & Zhong, 2011; Zhong & Shahidi, 2012).

2.2. Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler veya polifenoller, bir veya daha fazla hidroksil grubuna bağlı bir benzen halkası içeren bir bileşik grubudur. Bu halkada en az bir aromatik halka ve çok sayıda hidroksil sübstitüenti olan tüm bileşikler fenolik bileşikler olarak adlandırılır. Polifenolik bileşikler başlıca fenol içerir ve güneş ışığının yardımıyla bitkilerin yaprak, dal, meyve ve çiçeklerinde oluşan organik bileşiklerdir. Organik çözücülerde suya göre daha fazla çözünürler. Polifenollerin antioksidan özellikleri, indirgenbilirlikleri ve hidrojen verici özellikleri ile ilişkilidir (Bursal, 2009). Fenolik bileşikler çeşitli bitki organlarında bulunur ve bu nedenle insan beslenmesinin ayrılmaz bir parçasını oluşturur. Çeşitli çalışmalar, fenoliklerin antioksidatif etkiler sergilediğini ve DNA oksidasyonunun ve düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterolün *in vitro* sistemlerdeki inhibisyonundan sorumlu olduklarını göstermiştir (Adom & Liu, 2002; Chandrasekara & Shahidi, 2010; Liyana-Pathirana ve ark., 2006; Madhujith & Shahidi, 2007).

2.3. Flavonoidler

Flavonoidler, 15 karbonlu 2-fenil benzopiran (difenilpropan) yapıdadır ve fenil grupları (flavan halkası) arasında üçlü bir karbon köprüsü ile oksijenli bir halka oluştururlar. Çeşitli flavonoidler arasındaki farklar, bunlara bağlı hidroksil gruplarının sayısı, doymamışlık derecesi ve üçlü karbon segmentinin oksidasyon seviyesinden kaynaklanmaktadır. Flavonoidlerin iskelet yapısı farklı olmakla birlikte flavonlar, flavonoller, flavanonlar, flavanoller, izoflavonlar, antosiyanidinler ve kalkonlar olarak adlandırılan farklı alt sınıfları vardır (Bors ve ark., 1990; Formica & Regelson, 1995; Ptittin, 1987).

Şadok'un uçucu yağlarının, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı *in vitro* aktivite gösterdiği ve galenik preparatlar için geniş spektrumlu antibakteriyel ham madde olarak önemli potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir (Ontengco ve ark., 1995).

Yapılan bir çalışmada bitkinin kabuklarındaki toplam fenolik, flavonoidler ve flavonoid içerikleri ve toplam fenolik içerik konsantrasyonu 42.79 ile 54.56 mg gallik asit eşdeğeri/g arasında, toplam flavonoid içeriği ise 26.70-13.43 mg/g quercetin eşdeğeri aralığında bulunmuştur (Ding ve ark., 2013).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Şadok (*C. maxima*) meyveleri Antalya, Finike (Türkiye)’de yetiştirilen narenciye bahçesinden elde edilmiştir. Ortalama çapı 15-30 cm arasında değişmektedir. Kabuğu kalın ve meyvesi tatlı-acı lezzettedir. Kabuk kalınlığı ve kabuk ile meyve arasındaki albedo kalınlığı da fazladır.

3.2. Kullanılan Çözeltiler

2 N Folin-Ciocalteu çözeltisi stok olarak hazırlanmıştır. Analizler sırasında 10 kat seyreltilerek kullanılmıştır. %7.5’lik Na₂CO₃ çözeltisi ve %2’lik AlCl₃ çözeltisi hazırlanmıştır. AlCl₃ çözeltisi için çözücü olarak hacmen 50/50 (w/w) glasiyel asetik asit ve metanol kullanılmıştır.

Fosfat tampon çözeltisi (50 mM) K₂HPO₄ ve KH₂PO₄ kullanılarak hazırlanmıştır. Fosfat tamponu için pH 7.2-7.4 aralığında ayarlanmıştır. 7 mM ABTS stok çözeltisi hazırlanmıştır. ABTS stok çözeltisi en az 16 saat karanlık ortamda ışık geçirmez bir cam içinde muhafaza edilmiştir. Analiz sırasında stok çözelti seyreltilerek kullanılmıştır.

Kalibrasyon eğrileri ve denklemi elde etmek için Gallik Asit stok çözeltisi (0.5 mg/mL), Quercetin stok çözeltisi (0.5 mg/mL) ve Troloks (2.5 mmol/L) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Kalibrasyon için bu stok çözeltilerin belirli konsantrasyonları seyreltilerek kullanılmıştır.

3.3. Metot

C. maxima meyvesinin kabukları ince olarak kesilmiş, kabuk ve meyve arasındaki kısım hasas bir şekilde çıkarılmıştır. Dış kabuklar ve albedo kısmı ince-uzun şekilde kesilerek parçalara ayrılmış ve 60 °C’de 48 saat etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan dış kabuk ve albedo kısımları öğütücü yardımıyla yüzey alanının büyütülmesi amacıyla küçük parçalara öğütülmüştür. Daha sonra çözücü olarak kullanılan etanol, metanol ve saf su ile karıştırılarak 48 saat 4 °C’de buzdolabında saklanmıştır. Çözücüler eklenirken 0.1 g kuru malzemeye 4 mL çözücü oranı kullanılmıştır.

3.4. Toplam Fenolik Madde Analizi

Yapılan bu çalışmada toplam fenolik madde analizi Folin-Ciocalteu metoduna göre uygulanmıştır (Singleton & Rossi, 1995). 300 µL ekstrakt ile 1.5 mL 2N’lik Folin-Ciocalteu reaktifi cam tüp içinde karıştırılmış ve 2 dakika bekleme süresinden sonra 1.2 mL %7.5 Na₂CO₃ çözeltisi eklenmiştir. Karışımlar vorteks ile karıştırılmış ve 25 °C’de 90 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Bekleme işleminden sonra absorbansı 765 nm dalga boyunda saf suya (kör) karşı okunmuştur.

Toplam fenolik madde içeriği gallik asit kalibrasyon grafiğinden elde edilen denklem ile gallik asit eşdeğeri olarak verilmiştir (GAE). Gallik asidin 5 farklı konsantrasyyla (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/mL) ölçülen absorbans değerleriyle kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur.

3.5. Toplam Flavonoid Madde Analizi

Flavonoid madde analizinde metanolik form metodu uygulanmıştır (Lamaison ve ark., 1990). Her çözücü için ekstratlerden 1 mL ve %2’lik AlCl₃ çözeltisinden 1 mL alınarak karıştırılmıştır. Karışım 25 °C’de 10 dakikalık bekleme sonucunda 394 nm dalga boyunda spektrofotometrede köre (%2 AlCl₃) karşı okunmuştur.

Flavonoid derişimi Quercetinin kalibrasyon grafiğinden elde edilen denklem ile hesaplanmıştır. Quercetinin 5 farklı konsantrasyyla (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/mL) ölçülen absorbans değerleriyle bir kalibrasyon grafiğı oluşturulmuştur.

3.6. Antioksidan Kapasite Analizi

Şadok atık kısımlarının antioksidan kapasitesi ABTS radikal katyon yakalama yeteneğine göre analiz edilmiştir. ABTS (2,2'-azonobis(3-etilbenzothiazoline-6-sulfonat)), peroksil veya diğer oksidanlarla okside olmakta ve ABTS•+ radikali oluşmaktadır. Analizler için hazırlanan ABTS stok çözeltisi koyu mavi renkli bir çözeltilerdir. Hazırlanan mavi renkteki çözeltilerde, antioksidan içerik nedeniyle ABTS•+ katyonu parçalanmıştır ve bu sayede çözeltilerin renginde bir açılma görülmüştür. Mavi renkteki açılma antioksidan içeriğinin bir kanıtı niteliğindedir (Miller ve ark., 1995).

ABTS stok çözeltisi çözeltilerin absorbansı 0.7'ye sabitleninceye kadar fosfat tamponuyla seyreltilmiştir ve olabildiğince ışıktan korunmuştur. Analiz için 1900 µL seyreltilmiş ABTS ve 100 µL ekstrelerden eklenmiş ve karıştırılmıştır. Bu karışımların absorbansı 734 nm dalga boyunda UV-VIS spektrofotometrede fosfat tamponuna karşı okunmuştur. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar troloks eşdeğer aktivite (TEAC) olarak adlandırılır ve troloks standart olarak kabul edilir. Kalibrasyon grafiğı troloksun 5 ayrı konsantrasyonuna (0.05-0.1-0.2-0.3-0.4 mmol/L) karşı hesaplanan absorbans değerlerinin tanık ile farkı alınarak oluşturulmuştur.

3.7. Analiz ve İstatistik Bilgileri

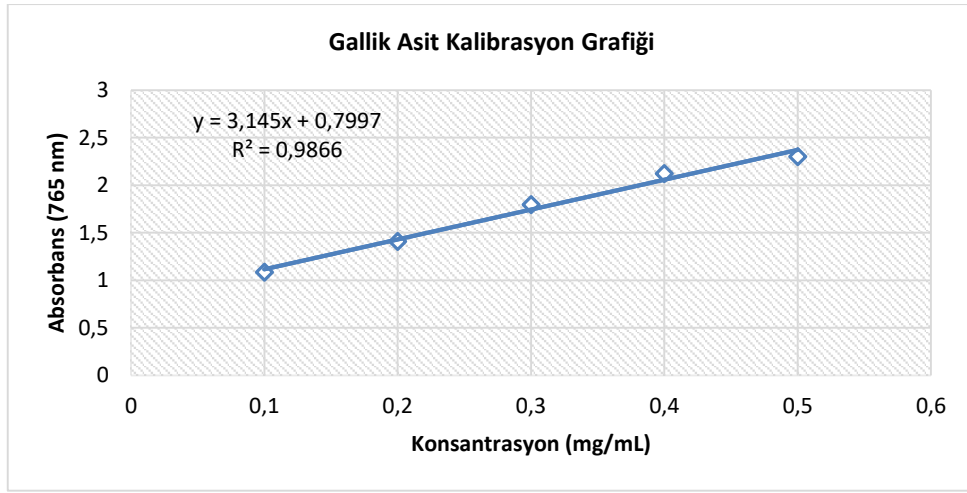
Çalışmada kullanılan çözücüler (Metanol: Sigma-Aldrich; Etanol: Merck) analitik saflıktadır. Karşılaştırma amaçlı çözücü olarak saf su kullanılmış ve aynı analizler saf su ekstreleri için de gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ile karşılaştırmalı bir tablo oluşturulmuştur. Absorbans okumaları UV-VIS spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. Analizler 3 tekrarlı yapılmış ve standart sapmalar sonuçlar ile birlikte verilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, dış kabuk ve albedo kısımları ayrılıp nem giderimini sağlamak amacıyla 48 saat 60 °C'de kurutulmuştur. Etanol, metanol ve saf su çözücülerini ile karıştırılıp 72 saat 4°C'de buzdolabında bekletilen ekstraktlar daha sonra Whatmann filtre kağıdı ile süzülerek analizler için buzdolabına kaldırılmıştır. Toplam Fenolik Madde, Toplam Flavonoid Madde ve Antioksidan Aktivite analizleri yapılmıştır. Her analiz 3 tekrarlı yapılmış ve sonuçlar standart sapmaları ile birlikte verilmiştir.

4.1. Toplam Fenolik Madde

'Kabuk' ve 'Albedo' olarak kodlanan meyve kısımlarından elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde tayini Şekil 1'de verilen kalibrasyon grafiğine göre hesaplanmıştır. Ölçülen absorbans değerleri grafikteki denklemde yerine yazılıp sonuç Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) mg/g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Gallik Asit Kalibrasyon Grafiği

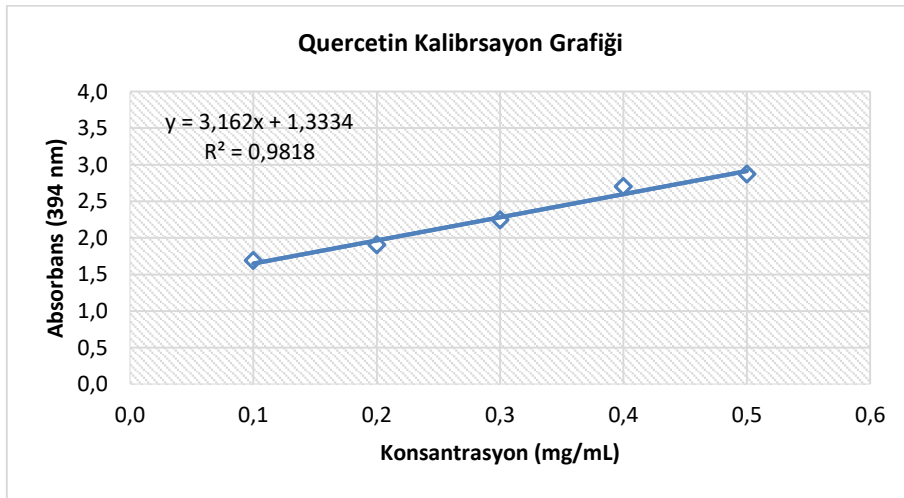
Aşağıdaki tabloda (Tablo 1) etanol, metanol ve saf su çözücüleri ile muamele edilen ekstraktların fenolik madde miktarları verilmiştir.

Tablo 1. Etanol, Metanol ve Saf Su Çözücüleri için Toplam Fenolik Madde Miktarları (mg/g GAE)

	Etanol	Metanol	Saf Su
Kabuk	50.39±2.14	59.64±1.9	53.16±2.01
Albedo	51.04±2.07	77.72±2.568	72.55±2.31

4.2. Toplam Flavonoid Madde

Kabuk ve Albedo olarak kodlanan meyve kısımlarından elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde tayini Şekil 2’de verilen Quercetin kalibrasyon grafiğine göre hesaplanmıştır. Ölçülen absorbans değerleri grafikteki denklemden yerine yazılıp sonuç Quercetin Eşdeğeri (QE) mg/g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Quercetin Kalibrasyon Grafiği

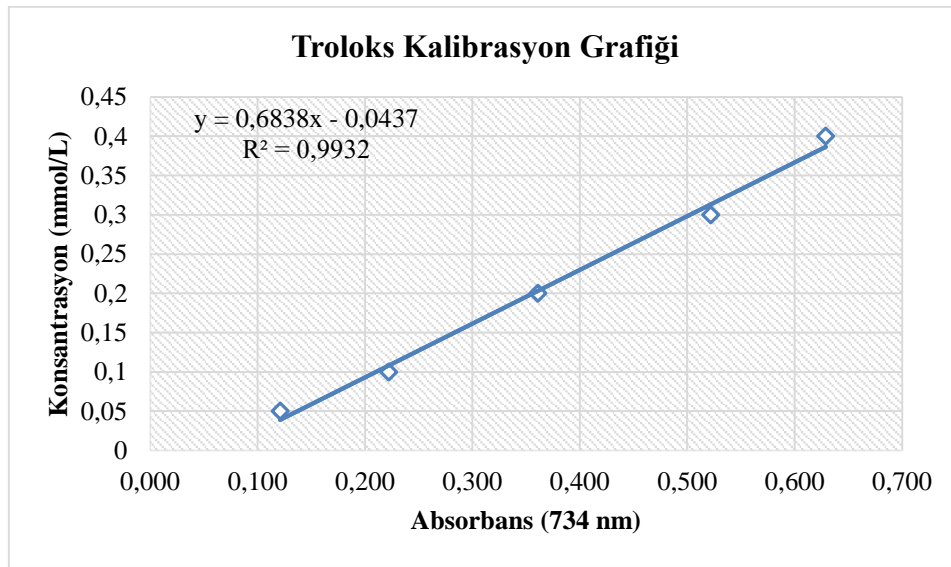
Aşağıdaki tabloda (Tablo 2) etanol, metanol ve saf su çözücüleri ile muamele edilen ekstraktların flavonoid madde miktarları verilmiştir.

Tablo 2. Etanol, Metanol ve Saf Su Çözücüleri için Toplam Flavonoid Madde Miktarları (mg/g QE)

	Etanol	Metanol	Saf Su
Kabuk	20.24±1.44	31.23±2.54	36.56±1.75
Albedo	22.05±1.28	23.83±1.76	52.91±2.99

4.3. Antioksidan Aktivite

Kabuk ve Albedo olarak kodlanan meyve kısımlarından elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde tayini Şekil 3'te verilen kalibrasyon grafiğine göre hesaplanmıştır.



Şekil 3. Troloks Kalibrasyon Grafiği

Ölçülen absorbans değerleri grafikteki denklemden yerine yazılıp sonuç Troloks Eşdeğeri Ankioksidan Kapasite (TEAC) mmol/g olarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki tabloda (Tablo 3) etanol, metanol ve saf su çözücüleri ile muamele edilen ekstraktların antioksidan madde miktarları verilmiştir.

Tablo 3. Etanol, Metanol ve Saf Su Çözücüleri için Antioksidan Madde Miktarları (mmol/g TEAC)

	Etanol	Metanol	Saf Su
Kabuk	2.37±0.498	1.00±0.27	0.40±0.04
Albedo	1.19±0.11	0.51±0.04	0.27±0.03

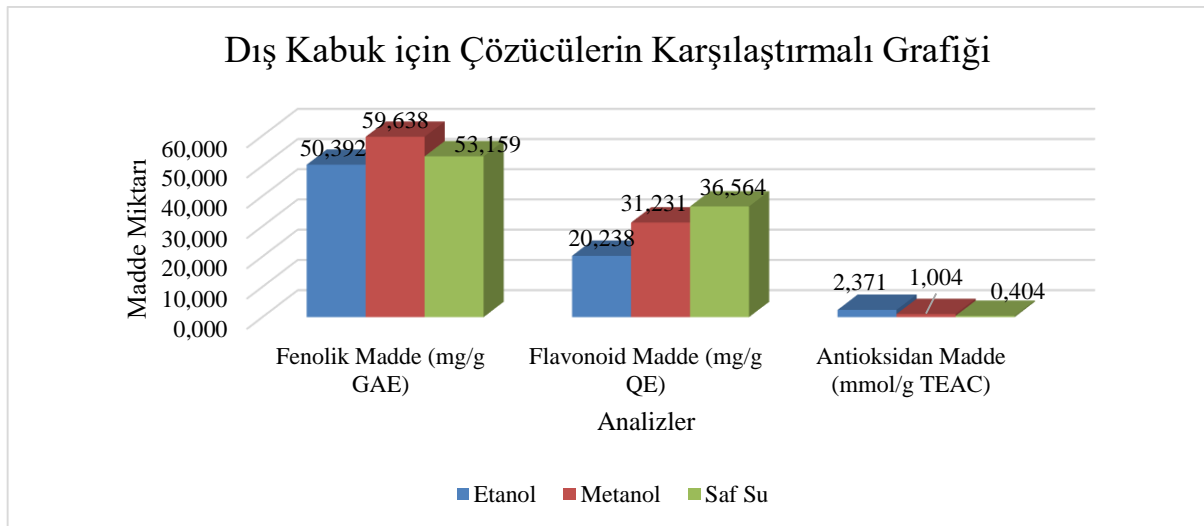
Saf su ile yapılan analizlerin sonuçları ise kıyaslama yapılabilmesi açısından çalışmaya dahil edilmiştir. Çözücü olarak saf suyun kullanıldığı ve aynı metodların uygulandığı çalışmanın sonuçlarına göre dış kabuk kısmının etanol ekstreleri için toplam fenolik madde miktarı 50,39±2,14 mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı 20,24±1,44 mg/g QE ve antioksidan madde miktarı 2,37±0,50 mmol/g olarak elde edilmiştir. Dış kabuk metanol ekstrelerinde ise toplam fenolik madde miktarı 59,64±1,95 mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı 31,23±2,54 mg/g QE ve

antioksidan madde miktarı $1,00 \pm 0,27$ mmol/g olarak elde edilmiştir. Saf su ile hazırlanan dış kabuk ekstralarında ise toplam fenolik madde miktarı $53,16 \pm 2,01$ mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı $36,56 \pm 1,75$ mg/g QE ve antioksidan madde miktarı $0,40 \pm 0,04$ mmol/g olarak elde edilmiştir.

Albedo etanol ekstralarında fenolik madde miktarı $51,04 \pm 2,07$ mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı $22,05 \pm 1,28$ mg/g QE ve antioksidan madde miktarı $1,19 \pm 0,11$ mmol/g olarak elde edilmiştir. Metanol ekstralarının analizinden elde edilen sonuçlara göre toplam fenolik madde miktarı $77,72 \pm 2,56$ mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı $23,83 \pm 1,76$ mg/g QE ve antioksidan madde miktarı $0,51 \pm 0,04$ mmol/g olarak elde edilmiştir. Saf su ile hazırlanan albedo ekstralarında ise toplam fenolik madde miktarı $72,55 \pm 2,31$ mg/g GAE, toplam flavonoid madde miktarı $52,91 \pm 2,99$ mg/g QE ve antioksidan madde miktarı $0,27 \pm 0,03$ mmol/g olarak elde edilmiştir. Saf su, etanol ve metanol çözücülerinin kıyaslandığı değerler Tablo 4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Farklı Çözücüler ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.

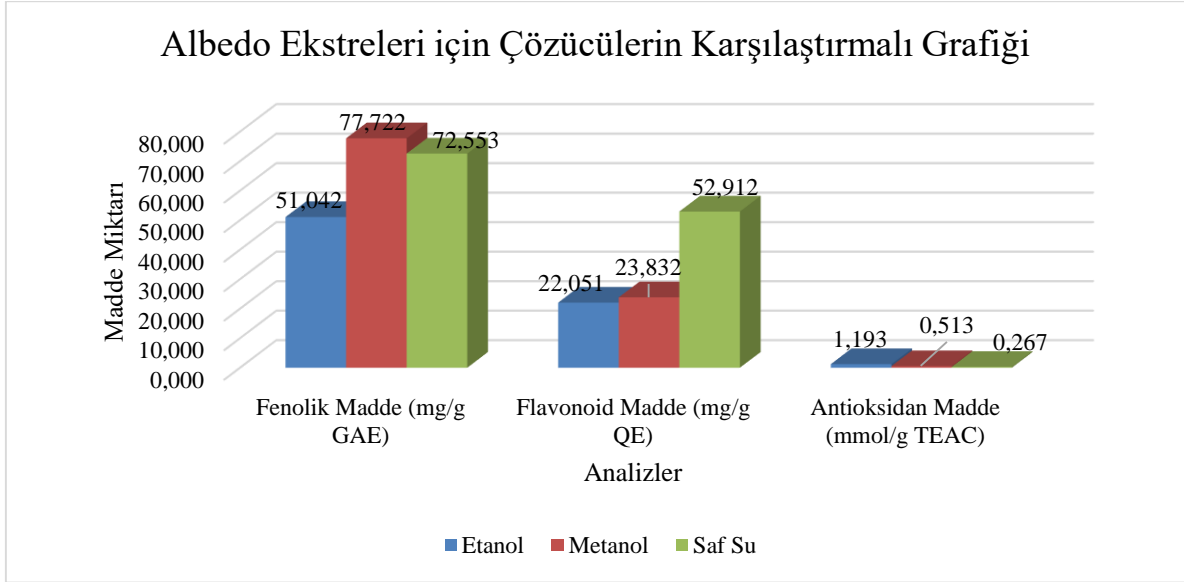
	Etanol		Metanol		Saf Su	
	Kabuk	Albedo	Kabuk	Albedo	Kabuk	Albedo
Fenolik Madde (mg/g GAE)	50.39 ± 2.14	51.04 ± 2.07	59.64 ± 1.95	77.72 ± 2.56	53.16 ± 2.01	72.55 ± 2.31
Flavonoid Madde (mg/g QE)	20.24 ± 1.44	22.05 ± 1.28	31.23 ± 2.54	23.83 ± 1.76	36.56 ± 1.75	52.91 ± 2.99
Antioksidan Madde (mmol/g TEAC)	2.37 ± 0.50	1.19 ± 0.11	1.00 ± 0.27	0.51 ± 0.04	0.40 ± 0.04	0.27 ± 0.03



Şekil 4. Dış Kabuk Ekstreleri için Çözücülerin Karşılaştırmalı Grafiği

Çözücülerin kıyaslanması açısından karşılaştırmalı grafikler (Şekil 4. ve Şekil 5.) dış kabuk ve albedo ekstraları için ayrı şekilde verilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre üç çözücünün de hem albedo hem de dış kabuk ekstraları için sonuç verdiği görülmüştür. Fenolik

madde tayini için optimum çözücünün metanol olduğu grafiklerle ortaya konmuştur. Flavonoid madde içerikleri için elde edilen en yüksek sonuç saf su ile hazırlanan ekstrelerde görülmüştür. Bu durumda flavonoid madde tayini için bu üç çözücü arasından kullanılacak optimum çözücü saf sudur. Antioksidan madde tayininde albedo ve dış kabuk ekstreleri için en uygun çözücü etanoldür. Albedo ve dış kabuk için yapılan analizlerde çözücüler arasındaki sonuçlarda benzer oranlara rastlanmıştır. Flavonoid madde analizi için albedotaki saf suyla edilen sonuçların diğer çözücülerin albedo ekstrelerinden elde edilen sonuçlara göre biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda albedo kısmındaki antioksidan madde miktarının dış kabuğa oranla daha az olduğunu sonuçlar ortaya koymuştur.



Şekil 5. Albedo Ekstreleri için Çözücülerin Karşılaştırmalı Grafiği

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

C. maxima ile gerek meyve boyutunda gerekse tüm kısımlar boyutunda farklı analiz yöntemleri ve çözücüler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bazı çalışmalar literatürde taranarak şadok meyvesinin ve akraba olduğu diğer meyvelerin antioksidan aktivitelerinin olduğu, fenolik ve flavonoid madde içeriklerinin varlığı literatürde taranmıştır.

C. maxima kabuğunun sulu etanolik özü, esas olarak antioksidan, anti-inflamatuar ve anti-aterojenik gibi farklı biyolojik aktivitelerin sağlanmasında önemli bir rol oynayan flavonoidler, Vitamin C ve karotenoidlerden oluşmaktadır (Vijayalakshmi & Radha, 2016; Abudayeh ve ark., 2019).

Bunun yanında esansiyel yağların içerikleri ve antibakteriyel – antifungal aktivitelerinin de incelendiği çalışmalara literatürde rastlanmıştır. Singh ve Navneet (2016) tarafından, *C. grandis* ve *Citrus sinensis* esansiyel yağlarının, mantar ve aflatoksinlere karşı esansiyel yağ kombinasyonlarının aktivitesini tespit etmek için bir araştırma yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda (250, 500, 750 ve 1000 ppm) esansiyel yağların *in vitro* olarak mantar gelişimine karşı önemli ölçüde etkili olduğu bulunmuştur. Zhao ve ark., (2019), *C. grandis*'in anti-inflamatuar etkisini, hayvan modelinde meyve kabuğunun metanolik (% 90) ve etil asetat özütü (kumarin fraksiyonu, 32 g) ile ortaya koymuştur.

C. grandis (*C. maxima*) meyvesinin metanolik ekstrelerinin antioksidan aktivitesi, ekstrelerinin yüksek DPPH ve FRAP değerleri verdiği Long Evan sığanlarında da incelenmiştir. Sığandaki *C. maxima* meyvesinin metanolik ekstraktının toplam polifenolik içeriği 515.45 ± 4.62 olarak bildirilmiştir (Ali ve ark., 2019).

Abirami ve ark., (2014) tarafından yürütülen *in vitro* çalışma, en yüksek ABTS süpürme aktivitesinin *C. maxima* (kırmızı) (34.65 mmol Troloks Eşdeğeri/L meyve suyu) örneğinin *C. maxima*’ya (beyaz) (31.343.90 mmol TE/L meyve suyu) göre sergilendiğini bulmuştur. Antioksidan aktivite tayini için yapılan bir çalışmada ise *C. maxima*’nın antioksidan aktivitesi, DPPH ve TPC tahlilleri ile sırasıyla 7.92 ± 0.04 ve 10.74 ± 0.32 olarak bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2019).

He ve ark., (2019), *C. maxima* kabuğundaki esansiyel yağın (PPEO) toplam antioksidan aktivitesi, süperoksit anyon radikal süpürme oranı ve DPPH serbest radikal süpürme oranını, PPEO'nun IC₅₀'sinin 70.12 mg/mL olduğu konsantrasyona bağlı bir şekilde belirlemişlerdir.

Dış kabuk ekstrelerinden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında en yüksek değer fenolik madde için metanol ekstrelerinde elde edilmiştir. Etanol ve saf su ile hazırlanan ekstrelerde benzer değerler elde edilmiştir. Flavonoid madde miktarına bakıldığında en yüksek değer saf su ile hazırlanan ekstrelerden elde edilmiştir. Daha sonra en yüksek değer metanol ekstrelerinden ve ardından da etanol ekstrelerinden elde edilmiştir. Antioksidan madde miktarına bakıldığında etanol ekstrelerinden en yüksek değer elde edilmiştir. Dış kabuktaki antioksidan madde miktarının albedo ekstrelerine oranla daha fazla olduğu görülmüştür. En düşük antioksidan madde miktarı albedo ve dış kabuk için saf su ekstrelerinden elde edilmiştir. Dış kabuk ile yapılan analizlerin sonuçlarına göre en yüksek fenolik madde miktarı metanol ekstrelerinde, en yüksek flavonoid madde miktarı saf su ekstrelerinde ve en yüksek antioksidan madde miktarı ise etanol ekstrelerinde elde edilmiştir.

Kabuk ile meyve arasındaki iç kısımdan (albedo) elde edilen sonuçlar ele alındığında fenolik madde analizinde en yüksek değerler metanol ekstrelerinde elde edilmiştir. Saf su ekstreleri ile metanol ekstrelerinden elde edilen sonuçlar birbirine yakın olmakla beraber etanol ekstrelerinden elde edilen değerlere göre yüksek olduğu görülmüştür. Flavonoid madde analizinde ise saf su ile hazırlanan ekstrelerden en yüksek değerlerin elde edildiği görülmüştür. Metanol ve etanol ile hazırlanan ekstrelerin sağladığı değerler birbirine yakın olmakla birlikte saf su ile elde edilen değerlerden düşüktür. Antioksidan madde analizleri için elde edilen sonuçlara bakıldığında ise en etanol, metanol ve saf su ekstrelerinden elde edilen dış kabuk ve albedo için çözücüye bağlı sonuçların benzer oranda olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlarla birlikte atık olarak değerlendirilebilecek şadok (*C. maxima*) kabuklarının fenolik madde, flavonoid madde ihtiva ettiği ve antioksidan aktivite gösterdiği ortaya konmuştur. Yöntemlerin ve çözücülerin değiştirilmesi ile birlikte daha fazla verim elde edilebileceği araştırma konusudur. Özellikle flavonoid madde miktarının saf su ekstrelerinde diğer çözücülere oranla yüksek çıkmıştır. Daha farklı çözücülerin ya da ekstraksiyon yöntemlerinin denebilmesiyle farklı sonuçlar elde edilebilir. Farklı koşullarda ve iklimlerde yetiştirilen meyvelerde ve meyve kısımlarında değişik sonuçlar alınması mümkündür. Çalışmalarda zaman ve ekonomik tasarruf açısından bu sonuçlar ilerideki çalışmalara yol gösterebilecektir.

Literatürde taranan bilgilerle birlikte sonuçlar anlam kazanmaktadır. Meyvenin kendisinin antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi zaten literatürde bulunan çalışmalarda bildirilmiştir. Gerek ticari ürün (meyve suyu, aroma, kozmetik vb.) proseslerinde gerek gıda olarak ham tüketimde atık olarak kabuk kısmı ve albedo kısmının değerlendirilmesinde, bu kısımların içerdikleri antioksidan, fenolik ve flavonoid maddeler önemli bir etken olacaktır. Gıda atıklarının

üst seviyelere ulaştığı, kaynakların sınırlandığı ve gün geçtikçe yeni kaynak arayışlarının arttığı bu dönemde atık sayılabilecek ürünlerin içeriklerinin ortaya çıkarılması, bu ürünlerin değerlendirilmesinde öncü olabilecektir.

Güneydoğu Çin kökenli bu meyvenin yetiştirilme şartlarına ve elbette coğrafyasına bağlı olarak içerikleri, boyutu, fiziksel özellikleri değişebilmektedir. Anavatanı Türkiye olmamasına rağmen Türkiye’de sınırlı ölçüde üretilen, iç ve dış pazara aktarımı yapılabilen bir meyvenin tanınması ve bir bütün olarak faydalarının duyurulması ülkemiz için önemli olacaktır. Bu atıkların yüksek değerli içerikleri sayesinde işlenmesi, faydalı ürünlere dönüşümü ve endüstriyel alanda kullanımının desteklenmesi önemli olacaktır. Kozmetikten gıda takviyesine geniş bir pazar alanına girebilecek, antimikrobiyal alanda çalışmaları gerçekleştirilmiş ve antioksidan aktivite konusunda çalışmaların yapılmaya devam ettiği şadok (*C. maxima*) meyvesinin tüketilmeyen ve ne yazık ki çöpe giden kısımlarının değerlendirilmesine katkıda bulunmak gerekmektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Abirami, A., Nagarani, G., & Siddhuraju, P. (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from *Citrus hystrix* and *C. maxima* fruits. *Food Sci Hum Well.* 3(1), 16–25.
- Abudayeh, Z.H., Al Khalifa I.I., Mohammed S.M. & Ahmad AA. (2019). Phytochemical content and antioxidant activities of pomelo peel extract. *Pharmacog Res.*, 11(3), 244.
- Adom, K.K. & Lui, R.H. (2002). Antioxidant activity of grains. *J. Agric. Food Chem.*, 50(21), 6182–6187.
- Ali, M. Y., Rumpa, N. N., Paul, S., Hossen, M. S., Tanvir, E. M., Hossan, T., Saha, M., Alam, N., Karim, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2019). Antioxidant potential, subacute toxicity, and beneficiary effects of methanolic extract of pomelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) in Long Evan Rats. *Journal of Toxicology*, 2, 529-569.
- Anderson D., Phillips B.J., Tian-Wei Y.U., Edwards A.J., Ayesh R. & Butterworth K.R. (2000). Effects of vitamin C supplementation in human volunteers with a range of cholesterol levels on biomarkers of oxygen radical-generated damage. *Pure Appl. Chem.* 72, 973-983.
- Bors, W., Heller, W., Michel, C. & Saran, M. (1990). Flavonoids as antioxidants: Determination of radical-scavenging efficiencies. In: *Methods in Enzymology*. Lorsch J. (eds). *Academic Press*, USA, 343–355.
- Bursal, E. (2009). *Determination of antioxidant and antiradical activities of kiwi fruit (Actinidia deliciosa), purification and characterization of carbonic anhydrase enzyme* [Doktora tezi], Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Chandrasekara, A. & Shahidi, F. (2010). Inhibitory activities of soluble and bound millet seed phenolics on free radicals and reactive oxygen species. *J. Agric. Food Chem.*, 59(1), 428–436.

- Ding, X., Guo, L., Zhang, Y., Fan, S., Gu, M., Lu, Y., Jiang, D., Li, Y., Huang, C., & Zhou, Z. (2013). Extracts of pomelo peels prevent high-fat diet-induced metabolic disorders in c57bl/6 mice through activating the PPAR α and GLUT4 pathway. *PloS One*, 8(10), 77915.
- Formica, J.V. & Regelson, W. (1995). Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. *Food Chem. Toxicol.*, 33(12), 1061–1080.
- He W., Li X., Peng Y., He X., & Pan S. (2019). Anti-oxidant and anti-melanogenic properties of essential oil from peel of pomelo cv. Guan Xi. *Molecules*. 24(2), 242.
- Kumar D., Ladaniya M.S. & Gurjar M. (2019). Underutilized Citrus sp. pomelo (*Citrus grandis*) and Kachai lemon (*Citrus jambhiri*) exhale in phytochemicals and antioxidant potential. *J Food Sci Technol*. 56(1), 217–223.
- Lamaison, J.L., Carnat, A. & Petitjean-Freytet, C. (1990). Tannin content and inhibiting activity of elastase in Rosaceae. *Ann. Pharm. Fr.*, 48(6), 335–340.
- Liyana-Pathirana, C., Dexter, J. & Shahidi F. (2006). Antioxidant properties of wheat as affected by pearling. *J. Agric. Food Chem*. 54(17), 6177–6184.
- Madhujith, T., & Shahidi, F. (2007). Antioxidative and antiproliferative properties of selected barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars and their potential for inhibition of low-density lipoprotein (LDL) cholesterol oxidation. *J. Agric. Food Chem*. 55(13), 5018–5024.
- Miller N.J., Diplock A.T., & Rice-Evans C.A. (1995). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43 (7), 1794-1801.
- Ontengco, D.C., Dayap, L.A. & Capal, T.V. (1995). Screening for the antibacterial activity of essential oils from some Philippine plants. *Acta Manilana*. 43, 19–23.
- Ptittin, E.A. (1987). *Centaurea thracica* (Janka) Hayek and *Centaurea pichleri* boiss. subsp. *Pichleri* flavonoids. [PhD thesis], Anadolu University, Institute of Health Sciences, Eskişehir.
- Rattan, S.I. (2006). Theories of biological aging: genes, proteins, and free radicals. *Free Radic. Res*. 40 (12), 1230–1238.
- Rice-Evans C.A., N.J. Miller & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acid. *Free Radic. Biol. Med*. 20, 933–956.
- Rice-Evans C., Miller, N. & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci*. 2(4), 152–159.
- Scalbert, A. & G. Williamson. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutrition*, 130(8), 2073–2085.
- Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticul*. 16(3), 144–158.
- Singh A, & Navneet. (2016). Evaluation of antimicrobial potential and phytochemical assessment of *Citrus maxima* Burm. Seeds extracts against respiratory tract pathogens. *New Y Sci J*. 9(9), 4-10.

- Shahidi, F. & Zhong, Y. (2007). Measurement of antioxidant activity in food and biological systems. *Antioxidant Measurement Appl.*, 956, 36–66.
- Shahidi, F. & Zhong, Y., (2011). Revisiting the polar paradox theory: a critical overview, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3499-3504.
- Tilburt J.C. & Kaptchuk T.J. (2008). Herbal medicine research and global health: An ethical analysis. *Bull World Health Organ.*, 86(8), 594–599.
- Vijayalakshmi P. & Radha R. (2016). Pharmacognostical and phytochemical screening of the peels of *Citrus maxima* . *Res J Pharmacog Phytochem.* 8(1), 25–31.
- Zhao, Y. L., Yang, X. W., Wu, B. F., Shang, J. H., Liu, Y. P., Zhi-Dai, & Luo, X. D. (2019). Anti inflammatory effect of pomelo peel and its bioactive coumarins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(32), 8810–8818.
- Zhong, Y. & Shahidi, F. (2011). Antioxidant behavior in bulk oil: Limitations of polar paradox theory, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), 4-6.



Research Article / Araştırma Makalesi

NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS WITH V-BLAST UNDER OPTIMUM ORDERING

OPTİMUM SIRALAMALI V-BLAST KULLANAN DİKGEN OLMAYAN ÇOKLU ERİŞİM

Furkan KARDAŞ¹

Mustafa Anıl REŞAT²

Serdar ÖZYURT³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1116164>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
195105122@ybu.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
13.05.2022

Accepted/ Kabul Tarihi
17.10.2022

Abstract

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is expected to be one of the fundamental technologies of the upcoming 6G standard. This is mainly due to NOMA's potential in enabling all the users to utilize the same frequency band and the same time slot. In this paper, NOMA is implemented in a multiple-input multiple-output wireless communication system. By implementing zero-forcing V-BLAST algorithm into NOMA, spectral efficiency is improved, and successive interference cancellation is carried out. To perform optimum ordering, receive antennas' signatures are compared and which signal to be decoded first is determined. Outage probability results of the system with optimum ordering and the same system without ordering are compared. In this way, a 3 dB gain is shown to be attained in terms of signal-to-noise ratio.

Keywords: Multiple-input multiple-output, non-orthogonal multiple access, optimum ordering, Wireless communications, V-BLAST.

Öz

Dikgen olmayan çoklu erişimin (DOÇE), yaklaşmakta olan 6G standardının temel teknolojilerinden biri olması beklenmektedir. Bu, esas olarak DOÇE'nin tüm kullanıcıların aynı frekans bandını ve aynı zaman aralığını kullanmasını sağlama potansiyelinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, DOÇE çoklu girişli çoklu çıkışlı kablosuz iletişim sisteminde uygulanmaktadır. DOÇE'ye sıfır-zorlamalı V-BLAST algoritması uygulanarak, spektral verimlilik artırılmış ve ardışık girişim iptali gerçekleştirilmiştir. Optimum sıralama yapmak için, alıcı antenlerin imzaları karşılaştırılmış ve ilk önce hangi sinyalin çözüleceği belirlenmiştir. Optimum sıralama uygulanan sistem ile uygulanmayan sistemler kesinti olasılığı sonuçları açısından karşılaştırılmıştır. Bu sayede işaret-gürültü oranı açısından 3 dB'lik bir kazancın elde edildiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu giriş çoklu çıkış, dikgen olmayan çoklu erişim, kablosuz haberleşme, optimum sıralama, V-BLAST.

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Electrical Electronics Engineering, Ankara, Türkiye. 195105122@ybu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0470-5484.

²Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical Electronics Engineering, Ankara, Türkiye. maresat@ybu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3741-7358.

³Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical Electronics Engineering, Ankara, Türkiye. sozyurt@ybu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9612-6227.

1. INTRODUCTION

Following the successes of Nikola Tesla and Guglielmo Marconi in the field of wireless communications, scientists have continued to develop this technology. More communication devices are developed and adapted to our everyday lives. Most recent technological developments are concentrated on fifth generation (5G) and beyond communication systems (Ding et al., 2017).

In wireless communication, there are several types of multiple access techniques to accommodate multiple users. Each has its own characteristics and is implemented into mobile communication generation by generation. First and second-generation communication systems respectively use frequency division multiple access (FDMA) and time division multiple access (TDMA). In FDMA and TDMA technologies, transitions respectively between different frequencies and time slots exist in an orthogonal fashion. To provide high data rates to users, code division multiple access has later been implemented in the third-generation systems. In the fourth-generation long-term evolution systems, orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) has been utilized, where distinct squares on the available time-frequency grid are used for multiple access. OFDMA is a multi-user extension of OFDM technique which provides a highly effective way of combating frequency-selective fading (Lan et al., 2014; Rahman et al., 2021).

On the other hand, recent reports show that mobile traffic needs will experience a 500-fold increase in the next decade (NTT DoCoMo, 2012). There are also some other necessities such as delay-sensitive communication, high-volume of services, and more communication devices in existence. This is where we come across the 5G communication. The usage of real-time remote sensing technologies, smart factories and home applications, smart cities, traffic management systems, and Internet of Things (IoT) adoption in real life suggests that the required data rates will skyrocket in a short time (Bariah et. al., 2020).

In order to address these issues, several approaches have been recommended by scientists. Using higher frequency bands to obtain higher bandwidths and spectrum extension, utilizing channel state information (CSI) at the transmitter and/or receiver (user) sides, which has also been used in previous generations, employing multiple-input multiple-output (MIMO) to enhance spectral efficiency by spatial multiplexing or to improve transmission reliability through spatial diversity are some of the most prominent ones (Agiwal et. al., 2016; Li et al., 2020). The maximum achievable diversity gain in a t transmit and r receive antenna system (known as a $t \times r$ MIMO system) is tr . The achievable diversity order depends on the detection method employed at the receiver side (Zheng & Tse, 2003). In addition to these technological advancements, millimeter-wave communications, comprehensive network architectures, massive MIMO systems, and non-orthogonal multiple access (NOMA) are developed and have been implemented together to overcome challenges in the upcoming telecommunications generations (Rahman et al., 2021).

Even though OFDMA provides orthogonality in the frequency domain, in 5G technology there is a massive number of devices that should be connected to each other. This necessity has pushed on scientists to produce innovative ideas and consequently, they have developed a recent technology that uses the same frequency band for different users at a given time. The technique which is developed and implemented to improve spectral efficiency is called NOMA (Saito et al., 2013). In NOMA, the same frequency band is used at the same time, unlike OFDMA. To do this, the base station (BS) transmits signals with different power levels associated with distinct users. This is called superposition. At the receiver side, by using CSI, signals are decoded, and successive interference cancellation (SIC) is applied to separate the interference caused by the signals of other users (Mwakwata et al., 2021).

In NOMA, different power levels are used to ensure equal performance amongst the users. To do this, differences between the channel gains of users are considered. For some system models, CSI is supposed to be available at the transmitter. Then, the BS transmits the signals of the associated users with the purpose of reducing outage probability. However, this is not always practical in real life (Liu et al., 2016). In addition, in some MIMO-NOMA systems, the receiver is assumed to know the CSI and the number of the receive antennas is equal to or larger than the number of the transmit antennas (Ding et al., 2016; Özyurt & Torlak, 2019). With NOMA, the power coefficient arrangement requires the channel gain information of the users either in an instantaneous or statistical sense. In power-domain NOMA, the closer a user stands to the BS, the larger channel gain it attains and the less signal power it is allocated. Likewise, the channel gain of the furthest user is the lowest of all users, so it needs the highest signal strength.

With the purpose of explaining the NOMA technique in more detail, let us introduce a sample MIMO system with two users, where user 1 is much closer to the BS than user 2. Thanks to the difference in power coefficients and fairness between users, the signals sent to user 2 will have a much higher power level than the ones for user 1. In this way, even if the far user has worse channel conditions, it can detect and decode its associated signals as a result of the power allocation at the BS. While user 2 only deals with its own signals, user 1 must decode the signals of user 2 before detecting its own signals. This process is known as SIC. Since the signals of user 2 have much more power, user 1 applies SIC to the signals of user 2 and decodes them first. Then, user 1 cancels these signals from its received signal. At last, user 1 decodes its own signals in an inter-user interference (ISI) free fashion (Timotheou & Krikidis, 2015). Here, user 1 utilizes SIC to deal with two types of interference. One of them is the ISI caused by signals of user 2. The other interference is known as intra-user (inter-layer) interference (INSI) which originates from its own signals. On the other hand, user 2 directly decodes the received signal without regarding any interference signal.

In MIMO systems, multiple signals can be transmitted from the transmit antennas in a parallel and simultaneous fashion when the transmitter does not possess any kind of CSI. This is known as layered transmission, e.g., vertical Bell Labs layered space-time (V-BLAST). Therefore, multiple signals are needed to be detected at the receiver side. The order of this detection directly affects the system performance in terms of the outage probability. If the signals are transmitted through a Rayleigh channel, each transmitted signal is exposed to a different distortion at each receive antenna. Optimum ordering focuses on the outage probability results by using the maximum signal-to-noise ratio (SNR) on each distorted signal and rearranges the order of the detection accordingly. The CSI at the receiver is used to specify the order because the channel values have a direct effect on SNR. For zero-forcing (ZF) V-BLAST, it is shown that the optimum ordering has a 3 dB SNR gain beyond no ordering technique (Loyka & Gagnon, 2004).

In a MIMO system, the BS separates and combines the signals for different antennas properly, whereas the receiver may perform distinct linear and/or nonlinear processes to separate the entangled signal into its parts. Foschini (1999) showed a layered transmission block diagram and detected the received signals with V-BLAST technique. In a layered transmission algorithm, the transmitted signal is divided into different layers, with equal or unequal rates. These separated streams are coded in each layer and transmitted with multiple antennas in a parallel manner. In the V-BLAST technique, the interference signal is nulled out from the signal yet to be detected and the desired signal is decoded with no INSI at any layer. The V-BLAST provides a near-optimum solution in terms of performance and complexity (Kim & Lee, 2005). Özyurt et al. (2020) showed that ISI and INSI can be dealt with in MIMO-NOMA systems by applying a combination of ZF V-BLAST and SIC techniques at the users.

In this paper, a two-user MIMO-NOMA system that employs optimum decoding ordering at both users in order to improve the performance in terms of outage probability is proposed. The NOMA technique is implemented to expand the spectral efficiency and ensure fairness between two users. On the transmitter side, different power coefficients are assigned for each transmitted signal of the users. According to the closeness of the users to the BS, different channel gains are considered. On the receive sides, ZF V-BLAST algorithm is applied to reduce the complexity of the system by using CSI. When the BS does not have any CSI, the applicable performance metric is outage probability. Thus, the main purpose of the system designed in this paper is to make sure the received SNR level is above a predefined threshold rate value for the receiver. Since the SNR directly affects the outage probability of this system performance, the optimum ordering is implemented within the ZF V-BLAST. At the receiver sides, the ZF V-BLAST algorithm is applied with the optimum decoding ordering. The outage probability performance of the system is shown to be improved. The mentioned system is analytically explained with formulas.

The rest of the paper is organized as follows. In order to describe the proposed NOMA technique in detail, the system model and its fundamentals are introduced in the second section. The outage probability analysis method and formulations regarding the performance evaluation of the classical and proposed systems are presented in the third section. The simulation results are provided in the fourth section. The final section concludes the paper by mentioning the contributions of the proposed system.

2. SYSTEM MODEL

In this paper, a MIMO system with one transmitter/BS and two receivers/users is investigated. NOMA is applied at the transmitter side to provide fairness between the users. Different power levels to different users regarding their distances from the BS are allocated. The BS has two antennas while the receivers have equal to or more than two antennas. It is assumed that there are enough spaces between the BS antennas and within the antennas of each user to provide spatial diversity.

We initially consider a scenario where there is a BS with two transmit antennas ($t = 2$) and there are two users ($k = 2$) with two receive antennas ($r = 2$). It is assumed that there is no CSI at the BS, and the users know only their associated CSI.

The BS sends four modulated signals in every cycle (x_{ij}); two for each user in each time slot. The transmitted signals for user 1 are shown by x_{11} and x_{12} and the signals of user 2 are demonstrated as x_{21} and, x_{22} , respectively for the first and second transmit antennas. As discussed before, NOMA is applied with different power coefficients (P_{ij}) to each signal where P_{ij} represents the power allocation for the j th symbol of the i th user. It is assumed that user 2 is the far user. The BS transmits x_{11} and x_{21} from the first antenna (\mathbf{x}_1) and x_{12} and x_{22} from the second antenna (\mathbf{x}_2). Also, \mathbf{x} is the column vector that includes the transmitted signals in which NOMA is applied (Benjebbovu et. al. 2013):

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11}\sqrt{P_{11}} + x_{21}\sqrt{P_{21}} \\ x_{12}\sqrt{P_{12}} + x_{22}\sqrt{P_{22}} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

where, $P_{2j} > P_{1j}$ for $j \in \{1,2\}$ is guaranteed in all conditions. H_k is the channel matrix which includes the independent and identically distributed (i.i.d.) zero-mean complex Gaussian random variables with unit variance, i.e., Rayleigh fading, for any k . Here, the subscript k imposes indices of the users and each user is affected by independent channels. Each channel (H_k) is a $r \times t$ matrix.

The i th row and j th column entry of H_k stands for the fading coefficient between the j th transmit antenna and the i th receive antenna at the k th user. Since user 1 is closer to the BS than user 2, the channel gain between the BS and user 1 is bigger than the channel gain between the BS and user 2. The overall system model is depicted in Figure 1.

The order of detection in the no ordering approach is as follows: user 2 does not perform SIC and detects x_{22} first and then x_{21} . Meanwhile, user 1 detects x_{22} and performs SIC to detect x_{12} . Then, x_{21} is detected and SIC is performed to detect x_{11} . Here, both users employ ZF V-BLAST where each user decomposes the channel matrix H_k with the QR decomposition method.

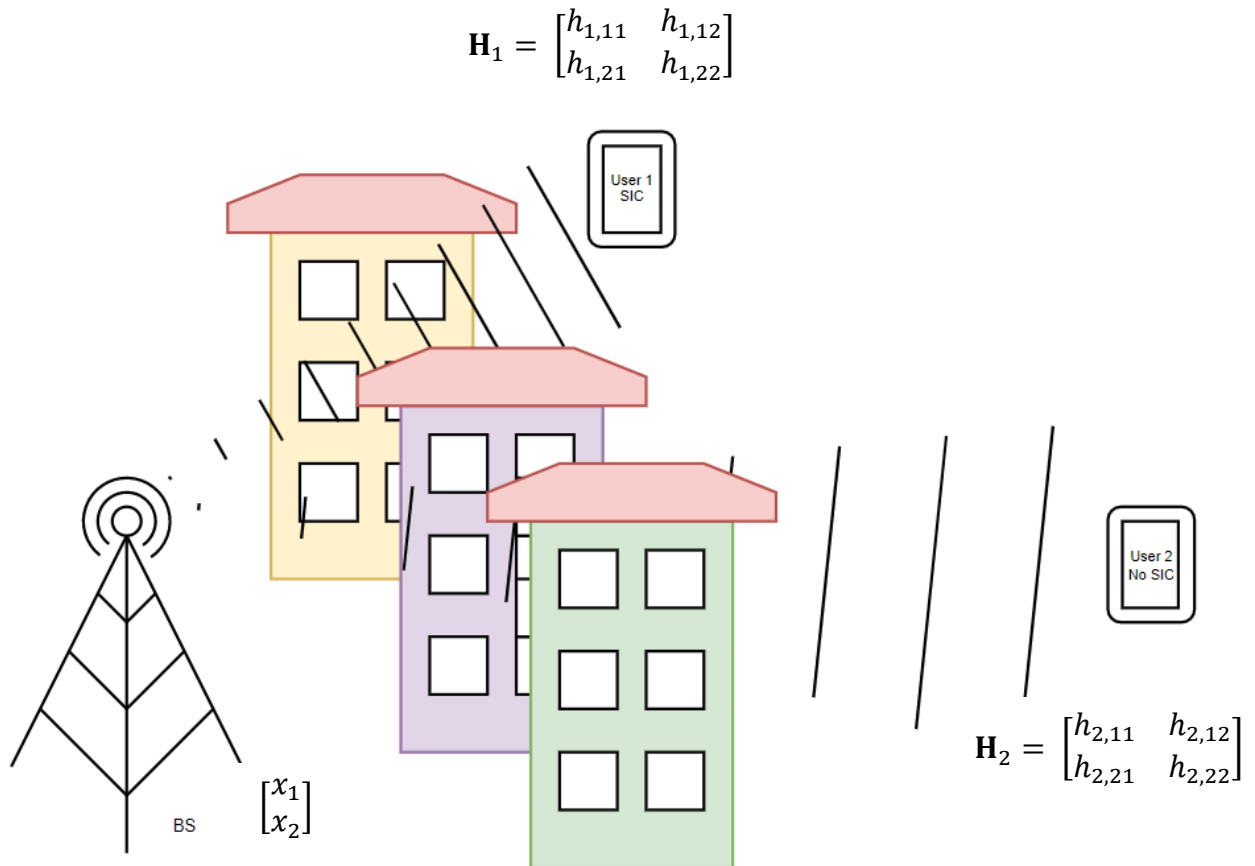


Figure 1. The System Model Consists of A BS and Two Users Each with Two Receive Antennas

The QR decomposition of H_k matrix results in $H_k = Q_k R_k$. Here, Q_k is a $r \times t$ orthogonal matrix and R_k is a $t \times t$ upper triangular matrix. Let $r_{k,ij}$ denote the i th row and j th column element of R_k . The channel gains depend on $r_{k,ij}$ and we have $r_{k,21} = 0$. Besides, each user is affected by additive white Gaussian noise (AWGN).

For user 1, the received signal y_1 is given by:

$$y_1 = H_1 x + n_1, \tag{2}$$

where, x is the 2×1 vector which includes the aggregate signal that is transmitted to all users, H_1 is the channel matrix of the first user, and n_1 is the 2×1 vector of the related AWGN term. For user 2, the received signal is y_2 can be written as:

$$y_2 = H_2x + n_2, \quad (3)$$

where, H_2 is the channel matrix of the second user and n_2 is the 2×1 vector of the related AWGN term. The vectors n_1 and n_2 are uncorrelated and all the entries in both vectors are independent and identically distributed zero-mean complex Gaussian random variables with unit variance.

By multiplying both sides of the equation with the Hermitian matrix of Q_k , it gives a 2×1 column vector (Özyurt et. al., 2020):

$$Q_k^H y_k = R_k x + n_k, \quad (4)$$

where, $(.)^H$ represents the Hermitian transpose of a matrix. Since x is a 2×1 column vector and r_{21} equals zero in the upper triangular matrix of 2×2 R_k , the received signal at each user in (2) and (3) can be rearranged by using (4) as:

$$Q_k^H y_k = \begin{bmatrix} r_{k,11}x_1 + r_{k,12}x_2 + n_{k1} \\ 0 + r_{k,22}x_2 + n_{k2} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

where, n_{k1} and n_{k2} are the first and second elements of the 2×1 column vector n_k , respectively.

The related steps regarding the decoding of the transmitted signals without optimum ordering at user 1 and user 2 are given below. Let $[A]_{ij}$ denote the i th row and j th column entry of the matrix A . Also, assume that $x_{1,22}$ and $x_{1,21}$ represent the decisions respectively for x_{22} and x_{21} at user 1. User 1 initially decodes $x_{1,22}$ by using $[Q_1^H y_1]_{21}$. Then, by performing SIC, the contribution of $x_{1,22}$ is subtracted from $[Q_1^H y_1]_{21}$ and user 1 decodes its own symbol x_{12} . Subsequently, user 1 decodes $x_{1,21}$ by means of $[Q_1^H y_1]_{11}$ and the effect of $x_{1,21}$ is then eliminated from $[Q_1^H y_1]_{11}$ in order to carry out SIC. User 1 afterward decodes its other symbol x_{11} . On the contrary, at user 2 the procedure considering the decoding of the transmitted signals without optimum ordering is performed as follows. At first, user 2 decodes x_{22} by using $[Q_2^H y_2]_{22}$. Then, it decodes x_{21} by eliminating the contribution of x_{22} from $[Q_2^H y_2]_{21}$. It should be noted that, user 2 makes its decisions under interference from user 1's symbols. The stated steps are illustrated in Figure 2.

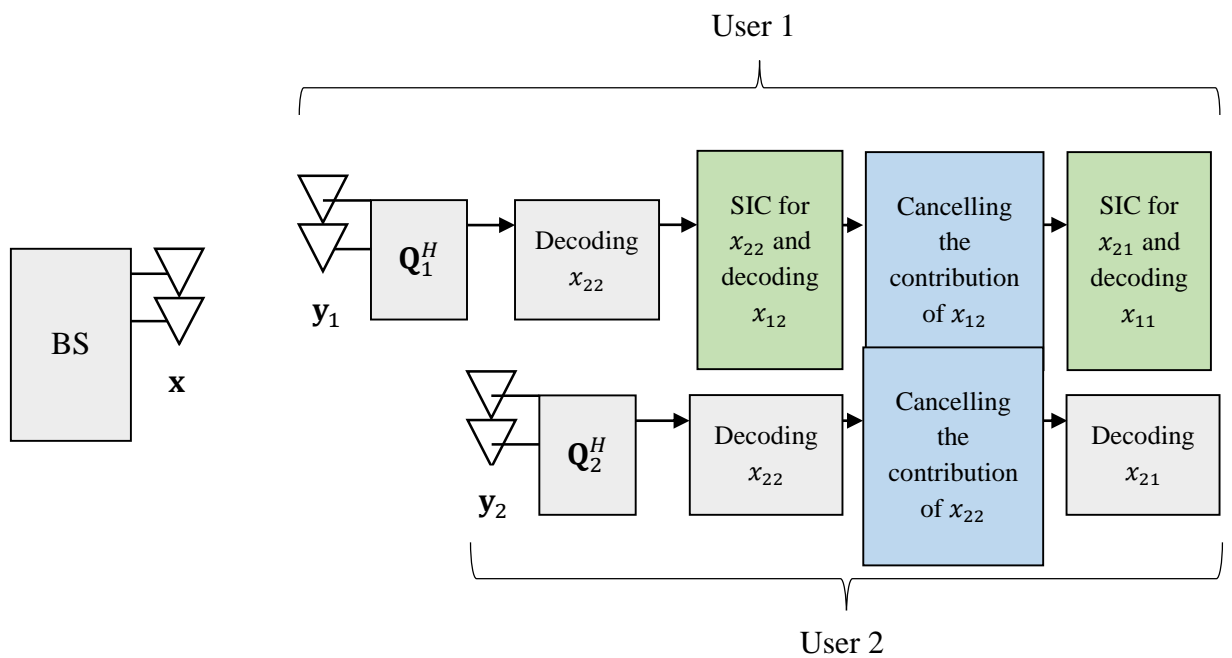


Figure 2. The Decoding Steps of Each Transmitted Signal at Two Users

In Figure 2, interuser interference cancellation is performed in green blocks whereas intrauser interference cancellation is conducted in blue blocks. Each channel matrix (H_k) consists of the signatures of the first (h_{k1}) and second (h_{k2}) transmit antennas for both users where h_{k1} and h_{k2} stand for the first two columns of H_k . While h_{k1} includes the channel coefficients between the first transmitter antenna and k th user, h_{k2} contains the channel coefficients between the second transmitter antenna and k th user. Both h_{k1} and h_{k2} are 2×1 column vectors.

In our system model, the optimum ordering technique is applied at each user to determine which signal is decoded initially. The optimum ordering is chosen such that the outage probability is minimized (Loyka & Gagnon, 2004). To decide the decoding order of the transmitted signals, CSI is utilized at each user. To this end, the signatures of the transmit antennas are used. At the k th user, the squared gains of the first and second layers under optimum ordering (the squared channel gains during the k th user decodes its own symbols) are respectively given by (Özyurt & Torlak, 2019),

$$\max \{h_{k1}^H P_{h_{k2}}^\perp h_{k1}, h_{k2}^H P_{h_{k1}}^\perp h_{k2}\}, \quad (6)$$

and

$$\min \{ \|h_{k1}\|^2, \|h_{k2}\|^2 \}. \quad (7)$$

Here, $P_{h_{k1}}^\perp$ and $P_{h_{k2}}^\perp$ are the projection matrices onto the null spaces of the vectors h_{k1} and h_{k2} , respectively (Loyka & Gagnon, 2004):

$$P_{h_{k1}}^\perp = I - h_{k1}(h_{k1}^H h_{k1})^{-1}h_{k1}^H, \quad (8)$$

$$P_{h_{k2}}^\perp = I - h_{k2}(h_{k2}^H h_{k2})^{-1}h_{k2}^H, \quad (9)$$

where I stands for the $r \times r$ identity matrix.

At the k th user, if $h_{k1}^H P_{h_{k2}}^\perp h_{k1}$ is larger than $h_{k2}^H P_{h_{k1}}^\perp h_{k2}$, the decoding order is set such that the symbols transmitted from the second transmit antenna are first decoded and then, the symbols transmitted from the first transmit antenna are decoded. Otherwise, the decoding order is reversed.

The decoding order of the transmitted signals when optimum ordering is applied may change according to (12) and (13). If the decoding order changes, the columns of H_k are switched accordingly. It is important to note that the similar SIC processes as above under no ordering scenarios are also applicable with optimum ordering.

The system mentioned so far is designed when the receiver has two antennas. It should be noted that, the preceding steps defined above can also be used when the MIMO system has more than two receive antennas. As H_k is a $r \times t$ matrix, after the QR decomposition of H_k , the derived matrices Q_k and R_k are $r \times t$ and $t \times t$ matrix, respectively. The element $r_{k,21}$ of R_k is still equal to zero. The effect of optimum ordering can easily be seen when it is applied at users with more than two receive antennas. We also investigate the case where the users have three and four receive antennas in the numerical results section. In this way, the outage probability results are improved significantly compared to the case with two receiver antennas.

3. OUTAGE PROBABILITY ANALYSIS

The proposed system is designed to improve the outage probability performance by applying optimum ordering. To accomplish this, the BS transmits the signals with various power levels which are determined by NOMA whereas the users employ ZF V-BLAST for detection. CSI is used to rearrange the order of detection and in this way, outage probability performance can be enhanced.

If optimum ordering is not applied at user 1, after performing SIC, x_{12} is decoded initially. Next, x_{11} is decoded following SIC. Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) is used to quantify the upper bounds of a wireless communication system. As it is assumed that optimum ordering does not affect the SIC performance at users, related SINR values are not affected by $x_{2,21}$ and $x_{2,22}$ (Özyurt et. al., 2020):

$$\text{SINR}_{12} = r_{1,22}P_{12}, \quad (10)$$

$$\text{SINR}_{11} = r_{1,11}P_{11}, \quad (11)$$

where, SINR_{ij} represents the corresponding SINR values of the j th symbol of the i th user. The upper triangular R_1 matrix consists of the elements $r_{1,11}$, $r_{1,12}$, and $r_{1,22}$ which are used to calculate SINR:

$$r_{1,11} = \|h_{11}\|^2, \quad (12)$$

$$r_{1,12} = \frac{\|h_{11}^H h_{12}\|^2}{\|h_{11}\|^2}, \quad (13)$$

$$r_{1,22} = h_{12}^H P_{h_{11}}^\perp h_{12}. \quad (14)$$

The elements of R_1 are modified granted that decoding order is applied. If $h_{11}^H P_{h_{12}}^\perp h_{11}$ is greater than $h_{12}^H P_{h_{11}}^\perp h_{12}$.for user 1, then $r_{1,11}$, $r_{1,12}$, and $r_{1,22}$ changes as:

$$r_{1,11} = \|h_{12}\|^2, \quad (15)$$

$$r_{1,12} = \frac{\|h_{11}^H h_{12}\|^2}{\|h_{12}\|^2}, \quad (16)$$

$$r_{1,22} = h_{11}^H P_{h_{12}}^\perp h_{11}. \quad (17)$$

At user 2, the SINR formulas can be given as:

$$\text{SINR}_{22} = \frac{r_{2,22}P_{22}}{r_{2,22}P_{12}+1}, \quad (18)$$

$$\text{SINR}_{21} = \frac{r_{2,11}P_{21}}{r_{2,11}P_{11}+|r_{2,12}|^2 P_{12}+1}. \quad (19)$$

Considering the classical approach at user 2, firstly $x_{2,22}$ is decoded and $x_{2,12}$ is treated as an interference signal given in (24). Then, $x_{2,21}$ is decoded and $x_{2,11}$ and $x_{2,12}$ become the interference signals shown in (25). The term '1' in the denominators of (24) and (25) refers to the average AWGN power.

The upper triangular R_2 is composed of the elements $r_{2,11}$, $r_{2,12}$, and $r_{2,22}$ which are used to calculate the SINR:

$$r_{2,11} = \|h_{21}\|^2, \quad (20)$$

$$r_{2,12} = \frac{\|h_{21}^H h_{22}\|^2}{\|h_{21}\|^2}, \quad (21)$$

$$r_{2,22} = h_{22}^H P_{h_{21}}^\perp h_{22}. \quad (22)$$

In optimum ordering, since the columns of H_2 are swapped, the elements of R_2 also changes. If $h_{21}^H P_{h_{22}}^\perp h_{21}$ is larger than $h_{22}^H P_{h_{21}}^\perp h_{22}$.for user 2, then $r_{2,11}$, $r_{2,12}$. and $r_{2,22}$ are adjusted as:

$$r_{2,11} = \|h_{22}\|^2, \quad (23)$$

$$r_{2,12} = \frac{\|h_{21}^H h_{22}\|^2}{\|h_{22}\|^2}, \quad (24)$$

$$r_{2,22} = h_{21}^H P_{h_{22}}^\perp h_{21}. \quad (25)$$

When dealing with the high SINR regime, the effect of optimum ordering is not significant enough because the power of AWGN and the elements of R_k becomes negligible. Furthermore, SIC operation is assumed to be perfect at both users, as the optimum ordering does not affect the performance of the SIC.

4. NUMERICAL RESULTS

In this section, various simulation results considering the outage probability performance of the proposed system under different scenarios are demonstrated. For both no ordering and optimum ordering cases, the same target rates are used in order to guarantee fairness. The simulation results are obtained by ensuring SIC stability conditions given by $P_{2j} > P_{1j}$. Also, user 1 which is closer than user 2 to the BS has a larger average channel gain than user 2. The outage probability results are acquired by using the desired achievable rates for both users. Furthermore, the only additional complexity needed with the optimum ordering is the comparison of the columns of H_k channel matrix at each user. Besides, the BS does not need CSI and all the required calculations are performed at the users.

The outage probability performance of the proposed system with two transmit and two receive antennas is shown in Figure 3. It can be clearly seen that when the outage probability is equal to 10^{-4} , an SNR gain of 3 dB is achieved when optimum ordering is applied at each user.

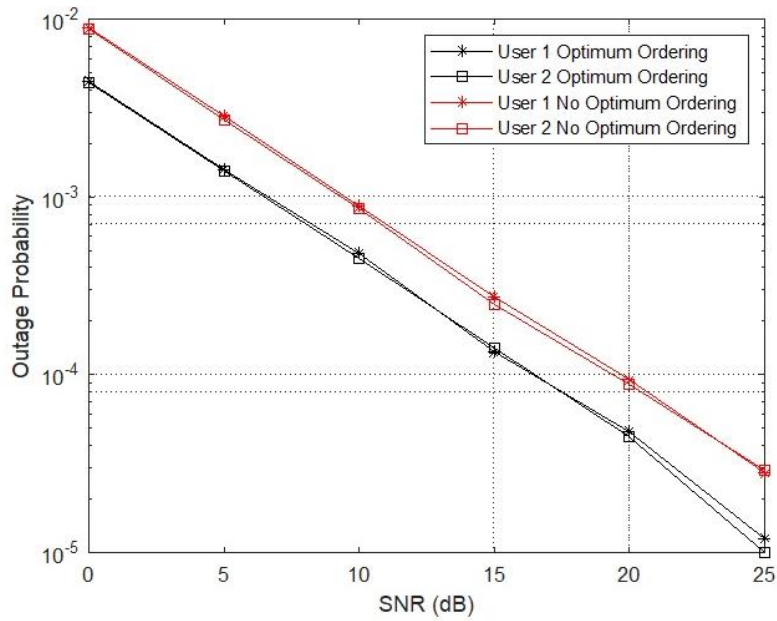


Figure 3. Outage Probability for The System with Two Transmit and Two Receive Antennas When Optimum Ordering is Applied at Each User

Moreover, we compare the cases where both users have two, three, and four antennas in Figure 4. To determine the outage probability results, the same achievable rate is targeted for in all these systems to make a fair comparison. Expectedly, as the number of antennas at the receiver side increases, the outage probability significantly decreases. It can be clearly seen that, in the high SNR region (SNR > 20 dB), the effect of optimum ordering becomes prominent. For example, a 3dB SNR gain is attained when the outage probability is 10^{-4} under all the inspected scenarios.

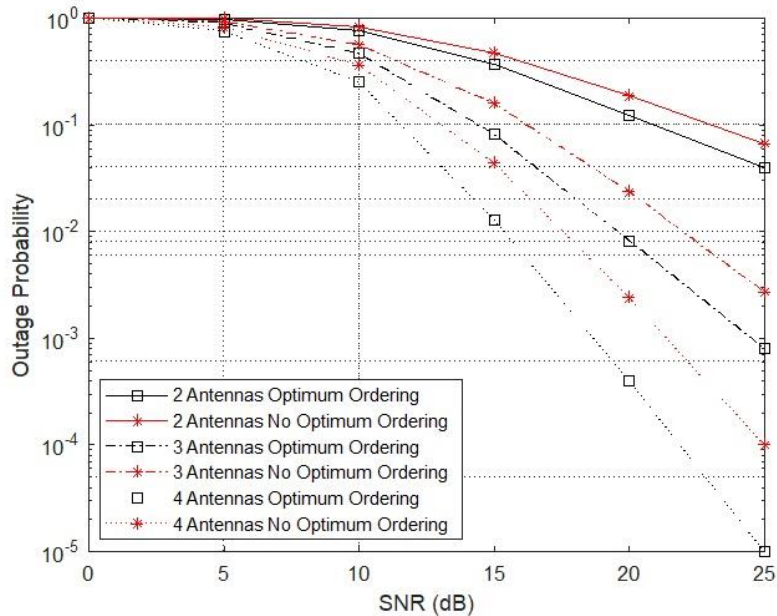


Figure 4. Outage Probability Results When Optimum Ordering is Applied at Both Users with Two, Three, and Four Receiver Antennas

5. CONCLUSION

In this study, MIMO is combined with the spectral efficient NOMA architecture which has been used frequently in current wireless technologies. For this purpose, ZF V-BLAST technique with its low processing complexity is integrated into the system. By considering the outage probability concerns, optimum decoding ordering is implemented for ZF V-BLAST. Starting with a scenario where a BS with two antennas communicates with two users each with two antennas, we describe the related steps in a detailed fashion. Then, the system model is extended to cover more than two antennas at both users. It turns out that the introduced system model achieves a 3 dB SNR gain as compared to a similar scenario with no decoding ordering. As the optimum ordering technique utilizes CSI at only the receiver sides, the suggested system model can be considered a practical choice without any significant additional complexity.

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

- Agiwal M., Roy A. & Saxena N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 18 (3), 1617-1655, <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>.
- Bariah L., Mohjazi L., Muhaidat S., Sofotasisos P. C., Kurt G. K., Yanikomeroğlu H. & Dobre O. A. (2020). A prospective look: Key enabling technologies, applications and open research topics in 6G networks. *IEEE Access*. 8, 174792-174820, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.06049>.
- Benjebbovu A., Li A., Saito Y., Kishiyama Y., Harada A. & Nakamura T. (2013). System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements. *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 66-70, doi: 10.1109/GLOCOMW.2013.6824963.
- Ding, Z., Adachi, F. & Poor, H. V. (2016). The application of MIMO to non-orthogonal multiple access. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 15(1), 537-552, <https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2475746>.
- Ding, Z., Lei, X., Karagiannidis, G.K., Schober, R., Yuan, J. & Bhargava, V.K. (2017). A survey on non-orthogonal multiple access for 5G networks: Research challenges and future trends. *IEEE Journal on Selected Areas In Communications*. 35(10), 2181-2195, <https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2725519>.
- Foschini, G. J. (1996). Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas. *Bell Labs Technical Journal*. 1(2), 41-59, <https://doi.org/10.1002/bltj.2015>.

- Foschini, G. J., Golden, G. D., Valenzuela, R. A. & Wolniansky, P. W. (1999). Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST spacetime communication architecture. *Electron. Lett.* 35(1), 14-16, <https://doi.org/10.1049/el:19990058>.
- Kim, J. & Lee, I. (2005, Nov. 28). Coded layered space-time transmission with signal space diversity in OFDM systems. *GLOBECOM '05 IEEE Global Telecommunications Conference*. St. Louis, <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2005.1578494>.
- Lan, Y., Benjebbour, A., Chen, X., Li, A. & Jiang, H. (2014, Dec. 15-17). Considerations on downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) combined with closed-loop SU-MIMO. *8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS)*. <https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2014.7021086>.
- Li, Q., Li, G., Lee, W., Lee, M., Mazzaresse, D., Clerckx, B. & Li, Z. (2020). MIMO Techniques in WiMAX and LTE: A feature overview. *IEEE Communications Magazine*. 48(5), 86-92, <https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5458368>.
- Liu, Y., Pan, G., Zhang, H. & Song M. (2016). On the capacity comparison between MIMO-NOMA and MIMO-OMA. *IEEE Access*. 4, 2123-2129, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2563462>.
- Loyka, S. & Gagnon, F. (2004). Performance analysis of the V-BLAST algorithm: An analytical approach. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 3(4), 1326-1337, <https://doi.org/10.1109/TWC.2004.830853>.
- Mwakwata, C. B., Elgarhy, O., Alam, M. M., Moullec, Y. L., Parand, S., Trichias, K. & Ramantas K. (2021). Cooperative scheduler to enhance massive connectivity in 5G and beyond by minimizing interference in OMA and NOMA. *IEEE Systems Journal*. 1-2, <https://doi.org/10.1109/JSYST.2021.3114338>.
- NTT DOCOMO, (2012). Requirements, candidate solutions & technology roadmap for LTE Rel-12 Onward. 3GPP RWS-120010.
- Özyurt, S., Simon, E.P. & Farah, J. (2020). NOMA with zero-forcing V-BLAST. *IEEE Communications Letters*. 24(9), 2070-2074, <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.2997365>.
- Özyurt, S. & Torlak, M. (2019). Exact outage probability analysis of dual-transmit-antenna V-BLAST with optimum ordering. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 1(9), 977-982, <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2880573>.
- Rahman, T., Khan, F., Khan, I., Ullah, N., Althobaiti, M.M. & Alassery, F. (2021). NOMA and OMA-based massive MIMO and clustering algorithms for beyond 5G IoT networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/6522089>.
- Saito, Y., Kishiyama, Y., Benjebbour, A., Nakamura, T., Li, A. & Higuchi K. (2013, June, 2-5). Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access. *IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. Dresden, <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2013.6692652>.
- Timotheou, S. & Krikidis, I. (2015). Fairness for non-orthogonal multiple access in 5G systems. *IEEE Signal Processing Letters*. 22(10), 1647-1651, <https://doi.org/10.1109/LSP.2015.2417119>.

Zheng, L. & Tse, D.N.C. (2003). Diversity and multiplexing: A fundamental tradeoff in multiple-antenna channels. *IEEE Transactions on Information Theory*. 49(5), 1073-1096, <https://doi.org/10.1109/TIT.2003.810646>.



Derleme Makalesi / Review Article

**BÜYÜK VERİDE ANONİMLEŞTİRME TEKNİKLERİ VE SALDIRI
TÜRLERİ: UYGULAMA ÖRNEKLERİ**

**ANONYMIZATION TECHNIQUES AND ATTACK TYPES IN BIG DATA:
APPLICATION EXAMPLES**

Hamza Talha GÜMÜŞ¹

Can EYÜPOĞLU²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1086750>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ceyupoglu@hho.msu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
12.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
06.07.2022

Öz

Veri kavramı ortaya çıktığından beri kişiye özgü olan bilgilerimiz işlenmeye başlanmıştır. Veri kavramı sonraki yıllarda kişisel veri konusunu oluşturarak veri güvenliği ve mahremiyeti kavramlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Kişiye ait ve özgü olarak tanımlanan kişisel veri kavramı mahremiyetin önemini bir kez daha vurgulamıştır. Gizlilik ya da gizli olma durumu şeklinde tanımlanan mahremiyet kavramı, her geçen gün veriler geliştikçe ve arttıkça daha fazla oranda önem kazanmaktadır. Son yıllarda araştırmacılar tarafından farklı anonimleştirme teknikleri geliştirilmiş ve bu teknikler sayesinde veri koruması artırılmıştır. Veri mahremiyeti önem kazanırken veri hırsızlığı kavramı da ortaya çıkmış ve belirli saldırı türleri geliştirilmiştir. Bu saldırı türlerine yönelik geliştirilen anonimleştirme teknikleri, veri kaybına yol açsa da kişisel veriye ulaşma ihtimalini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu çalışmada büyük veride anonimleştirme teknikleri ve saldırı türleri incelenmiş ve mahremiyet koruması konusu üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anonimleştirme teknikleri, büyük veri gizliliği, büyük veride saldırı türleri, mahremiyet koruması.

Abstract

Since the concept of data emerged, our personal information has been started to be processed. The concept of data has created the subject of personal data in the following years, leading to the emergence of the concepts of data security and privacy. The concept of personal data, which is defined as personal and private, has once again emphasized the importance of privacy. The concept of privacy, which is defined as confidentiality or the state of being confidential, gains more and more importance as data develop and increase day by day. In recent years, different anonymization techniques have been developed by researchers and data protection has been increased thanks to these techniques. While data privacy has gained importance, the concept of data theft has also emerged and certain types of attacks have been developed. Anonymization techniques developed for these types of attacks greatly reduce the possibility of accessing personal data, even if it leads to data loss. In this study, anonymization techniques and attack types in big data are examined and privacy protection is emphasized.

Keywords: Anonymization techniques, attack types in big data, big data privacy, privacy protection.

¹Milli Savunma Üniversitesi, Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. hamzatalhagumus@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-7360-8138.

²Milli Savunma Üniversitesi, Hava Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yeşilyurt, İstanbul, Türkiye. ceyupoglu@hho.msu.edu.tr, caneyupoglu@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-6133-8617.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile veri setleri büyük önem kazanmıştır. Veriler kullanılırken hali hazırda ülkemizde ve ülke birlik kuruluşları tarafından kişisel bilgilerin korunması için belirli çalışmalar yapılmış ve tasarılar sunulmuştur. Genel anlamda veri setleri içerisinde bulunan kişisel bilgilerin paylaşılması sınırlanmış ve paylaşım sağlanması için gerekli şartlar belirlenmiştir. En bilinen kanunlar dünyada Avrupa Birliği Genel Veri Koruma Tüzüğü (General Data Protection Regulation-GPDR) ve ülkemizde ise 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunudur (KVKK). Bu kanunlar gereğinde veriler paylaşılırken belirli yöntemlerin kullanılması bazı verilerin gizlenmesi şart koşulmuştur. Bir insana ait olan veriler kişisel olup izni dışında paylaşması yasaklanmış fakat ticari durum göz önüne alındığında verilerin içerisinde bulunan bazı bilgiler anonimleştirilerek paylaşılmasına izin verilmiştir. Aynı durum söz konusu iken veri paylaşımını sırasında ya da veri kümesinin bulunduğu kişi veya kurum içerisinde de verinin korunması şart koşulmuştur. Kanunlaşma süreci henüz yeni olsa da veriler uzun yıllardır korunmaya çalışılmaktadır. İlk olarak 1977 yılında Dalenius mahremiyetin korunmasını “Yayımlanan bir veri kümesi, arka planda başka kaynaklardan bilgiler elde etmiş olsa bile bir saldırgan, o veri kümesine erişimi yokmuş gibi veri sahipleri ile ilgili herhangi bir ekstra bilgi edinmesine izin vermemelidir” şeklinde açıklamıştır. Veriler her ne kadar anonimleştirilmiş olsa da belirli bilgiler ve var olan eski verilerin karşılaştırılması sonucunda açığa çıkabilmektedir. Bu durumu engellemek için belirli anonimleştirme yöntemleri geliştirilmiş ve mahremiyet sağlanmaya çalışılmıştır. Anonimleştirme teknikleri artarken veriye düzenlenebilecek saldırı yöntemleri de aynı düzeyde artmış ve saldırı yöntemlerine karşı da teknikler güçlendirilmiştir.

Çalışmanın diğer bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de nitelik türleri, anonimleştirme teknikleri, anonim hale getirme yönteminin seçilmesi, bilgi kaybını ölçme ve saldırı türleri ele alınmaktadır. Bölüm 3’te literatürdeki çalışmalar özetlenerek karşılaştırılmaktadır. Bölüm 4’te ise çalışmanın genel sonuçlarından bahsedilmektedir.

2. BÜYÜK VERİDE GİZLİLİK KORUMASI

Veri koruması belirli kanunlar çerçevesinde gerçekleşmektedir. Fakat anonimleştirme teknikleri ile verilerde kişisel veriler belirli aralıklar ile anonimleştirilerek verinin kişiye ait olduğunu anlama ihtimali düşürülmektedir. Veri koruma iki şekilde gerçekleştirilmektedir. İlk aşama gizlilik korumalı veri koruma şeklindedir. Burada veriler anonimleştirilerek tespit edilmesi zor hale getirilmektedir. Bir diğer aşama olan veriden bilgi çıkarmada ise ilk aşamada anonimleştirilen verilerden bilgilerin çıkarılması şeklindedir. Çıkan bilgi kullanımına göre anlamlı veri sınıfındadır (Eyüpoğlu ve ark., 2017).

2.1. Nitelik Türleri

Bir küme halinde bulunan veriler dört farklı sınıfta değerlendirilmektedir. Bunlar; doğrudan ya da açık tanımlayıcı, dolaylı ya da yarı tanımlayıcı, hassas nitelikler ve hassas olmayan nitelikler olarak sınıflandırılmaktadır (Afyonluoğlu, 2019; Eyüpoğlu, 2018).

Açık tanımlayıcı (explicit identifier-ID): Bir kişinin kimliğini belirten niteliklerdir. Bir başka deyişle kişiye ait olan ve kişiden başkasında bulunmayan, belirli bir kişiyi o bilgiyle tanımlayabileceğimiz veriler bu sınıf içerisinde yer almaktadır. Örnek olarak, TC kimlik numarası, pasaport numarası, ehliyet numarası, cep telefon numarası, sosyal güvenlik numarası, isim, soy isim gibi nitelikler açık tanımlayıcı nitelik olarak değerlendirilmektedir (Afyonluoğlu, 2019; Eyüpoğlu, 2018).

Yarı tanımlayıcı (quasi-identifier–QID): Kişiyi tam olarak tanımlamayan yanında gerekli olan bilgiler ile ya da başka veri setlerinden elde edilebilecek veriler ile kişinin tanımlanmasını sağlayan veriler bu sınıf içerisinde yer almaktadır. Yarı tanımlayıcı veriler sadece kendileri kullanılarak bir anlam ifade etmemektedir ve bir kişiyi tanımlamamaktadır. Tanımlama yapılabilmesi için kişi ile ilgili önceden bilgi sahibi olunması ya da farklı veri kümelerinde bulunan eşleşmeler ile kişisel bilgiye ulaşarak kişi tanımlanabilmektedir. Örnek olarak, yaş, adres, posta kodu, cinsiyet, doğum tarihi, doğum yeri, medeni hal ve meslek verilebilmektedir (Afyonluoğlu, 2019; Eyüpoğlu, 2018).

Hassas nitelikler (sensitive attributes–SA): Kişiyi özel olan, kişiyi bağlı paylaşılan veya paylaşılmayan, kişinin hassas bilgileri bu sınıf içerisinde yer almaktadır. Gelir bilgisi ve sağlık bilgisi en bilinen hassas niteliklerdir (Afyonluoğlu, 2019; Eyüpoğlu, 2018).

Hassas olmayan nitelikler (non-sensitive attributes–NSA): Belirlenmesi ya da ele geçmesi durumunda kişiyi ilişkin bilgi edinilemeyen verilere hassas olmayan nitelikler denilmektedir. Açık tanımlayıcı, yarı tanımlayıcı ve hassas nitelik olmayan tüm nitelikler bu nitelik sınıfı içerisinde yer almaktadır (Afyonluoğlu, 2019; Eyüpoğlu, 2018).

Veriler çok farklı alanlarda kullanılsa da literatürde en önemli olan verinin, sağlık verisi olduğu yapılan araştırmalardan görülmektedir. Yayımlanan makale ve tez çalışmalarında, veri anonimliği içinde sağlık alanı diğer alanlara göre daha fazla incelenmiştir. Bu incelemenin sebebi hassas veri dışında açık tanımlayıcı ve yarı tanımlayıcı verilerin de sağlık alanında bulunmasıdır. Sosyoekonomik veriler olarak bilinen veriler kişiyi tanımlar niteliktedir. Bu verilere örnek olarak isim, adres, doğum tarihi, aile, ırk, cinsiyet, evlilik durumu, meslek, gelir kaynağı, etnik köken, eğitim ve iş durumu verilebilir. Bir diğer durum sosyal medya ağlarında da mevcuttur. Günümüzde teknolojinin gelişimi ile gelen dijitalleşme sürecinde ortaya çıkan mevcut ağlarda da kişi açık tanımlayıcı, tanımlayıcı ve hassas nitelikli verilerini kullanmaktadır (Afyonluoğlu, 2019).

Sağlık alanı ve iş sosyal ağ platformu üzerine işlenen verilerde bir karşılaştırma yapılarak açık tanımlayıcı, yarı tanımlayıcı ve hassas veriler Tablo 1’de gösterilmektedir (Ünal, 2017).

Tablo 1. Tanımlayıcı Nitelikler ile Tıbbi Veri ve Sosyal Ağ Karşılaştırılması

	Tıbbi Veriler	İş Sosyal Ağ Platformu
Tanımlayıcı	İsim, soy isim, TC kimlik numarası	İsim, soy isim, cep telefon numarası, e-posta adresi
Yarı Tanımlayıcı	Yaş, adres, posta kodu, cinsiyet, doğum tarihi, doğum yeri, medeni hal, meslek bilgisi	Yaş, adres, cinsiyet, doğum tarihi, posta kodu, meslek bilgisi
Hassas Nitelik	Hastanın kimliği, öyküsü, şikâyetleri, ameliyat raporları, patoloji raporları, acil servis raporları, progres notları, yardımcı hizmet raporları, sosyal hizmet değerlendirmeleri, bakımını kim yapmış, taburculuk özeti, değerlendirme raporları; Hastaya sunulan hizmet ne, maliyeti ne kadar, ne zaman sunulmuş, nerede sunulmuş, hizmetin gerekçesi ne, çıktıları veya etkisi ne olmuş	Sağlık bilgisi, gelir durumu

Tanımlayıcı, yarı tanımlayıcı ve hassas niteliklerden oluşan örnek bir veri seti Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Tanımlayıcı, Yarı Tanımlayıcı ve Hassas Nitelik Örnek Tablo

Tanımlayıcı			Yarı Tanımlayıcı					Hassas Nitelik	
TC Kimlik No	İsim	Soy İsim	Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Meslek	Medeni Hali	Sağlık Bilgisi	Gelir Bilgisi
12345678902	Ali	Yılmaz	Erkek	25	06310	Bilgisayar Mühendisi	Bekâr	Hepatit	4250
23456789012	Mehmet	Gündüz	Erkek	29	06370	Ressam	Bekâr	Akciğer Kanseri	3500
34567890124	Veli	Kaya	Erkek	36	06050	Elektrik Ustası	Evli	Lenf Kanseri	5750
45678901234	Ayşe	Demir	Kadın	23	06120	Elektronik Mühendisi	Bekâr	Hepatit	4250
56789012346	Sevim	Şahin	Kadın	27	06165	Oyuncu	Evli	Grip	14650
67890123456	Ülkü	Çelik	Kadın	32	06210	Elektrik Teknisyeni	Bekâr	Beyin Tümörü	5250
78901234568	Mustafa	Aslan	Erkek	30	06260	Makine Teknisyeni	Evli	Hepatit	5500
89012345678	Ahmet	Çetin	Erkek	43	06340	İnşaat Ustası	Evli	Astım	5875
90123456780	Zeynep	Kara	Kadın	45	06450	Tarih Öğretmeni	Bekâr	Ülser	5300
12345678990	Fatma	Doğan	Kadın	48	06378	Edebiyat Öğretmeni	Evli	Gastrit	5600

2.2. Anonimleştirme Teknikleri

Veri setlerini anonimleştirmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler genel olarak beş başlık halinde tanımlanmıştır. Bu başlıklar; genelleme, gizleme, anatomizasyon, permütasyon, pertürbasyon şeklindedir. Fakat ülkemizde bulunan kişisel verileri koruma kurumu üç üst başlık şeklinde anonimleştirme yöntemlerini tanımlamıştır. Bunlar; değer düzensizliği sağlamayan anonim hale getirme yöntemleri, değer düzensizliği sağlayan anonim hale getirme yöntemleri ve anonim hale getirmeyi kuvvetlendirici istatistik yöntemler şeklindedir. Bu başlıkları altında dağılım yapılırken, değer düzensizliği sağlamayan anonim hale getirme yöntemleri; değişkenleri çıkartma, kayıtları çıkartma, alt ve üst sınır kodlama, bölgesel gizleme, örnekleme, değer düzensizliği sağlayan anonim hale getirme yöntemleri; mikro-birleştirme, veri değiş-tokuşu, gürültü ekleme, tekrar örnekleme ve anonim hale getirmeyi kuvvetlendirici istatistik yöntemler; k -anonimlik, l -çeşitlilik, t -yakınlık, diferansiyel gizlilik şeklindedir. Farklı kaynaklarda genelleştirme, baskılama, kovalara ayırma ve hibrit yöntemler de bulunmaktadır. Anonimleştirme teknikleri başlığı altında yirmi bir farklı teknik incelenmiştir (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017).

2.2.1. Literatürdeki anonimleştirme teknikleri

Bu bölümde genelleme, genelleştirme, gizleme, baskılama, anatomizasyon, permütasyon, pertürbasyon, kovalara ayırma ve hibrit yöntemler ele alınmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017; Vural, 2018).

2.2.1.1. Genelleme

Genelleme, veri setinde QID değerlerinin yani yarı tanımlayıcı niteliklerin bütünlüğünün korunarak genel anlam ile ifade edilmesidir. Yarı tanımlayıcı nitelikler üst anlamlarda kullanılarak genelleme yapılması şeklinde gerçekleştirilen anonimleştirme tekniğidir (KVKK, 2017). Örnek olarak yarı tanımlayıcı bir nitelik olan meslek bilgisinde bilgisayar mühendisi ve elektronik mühendisi bulunsun. Genelleştirme yapılırken temel meslek genellenerek mühendis olarak yazılmaktadır. Bu en basit genelleştirme örneğidir. Tablo 2'deki meslek verilerinin

genelleştirilmiş hali Tablo 3'te gösterilmektedir. Genelleştirme, farklı kaynaklarda genelleme anlamında kullanılan anonimleştirme tekniğidir (Vural, 2018).

Tablo 3. Genelleme Örneği

İsim	Soy İsim	Meslek	Genelleştirilmiş Meslek Bilgisi
Ali	Yılmaz	Bilgisayar Mühendisi	Mühendis
Mehmet	Gündüz	Ressam	Sanatçı
Veli	Kaya	Elektrik Ustası	Usta
Ayşe	Demir	Elektronik Mühendisi	Mühendis
Sevim	Şahin	Oyuncu	Sanatçı
Ülkü	Çelik	Elektrik Teknisyeni	Teknisyen
Mustafa	Aslan	Makine Teknisyeni	Teknisyen
Ahmet	Çetin	İnşaat Ustası	Usta
Zeynep	Kara	Tarih Öğretmeni	Öğretmen
Fatma	Doğan	Edebiyat Öğretmeni	Öğretmen

2.2.1.2. Gizleme

Gizleme işleminde, verilerden alınan tanımlayıcı ve yarı tanımlayıcı nitelikler bir karakter yardımı ile gizlenmektedir. Örnek olarak bir kişinin isim ve soy isim bilgileri bir karakter ile değiştirilir ve kişinin bilgisindeki tanımlayıcı nitelik kaldırılmış olur (KVKK, 2017). Tablo 4'te gizleme örnekleri verilmiştir. Tablonun E kısmında kayıt gizleme, D kısmında hücre gizleme ve A, B, C kısımlarında posta kodu için değer gizleme uygulanmıştır. Baskılama, farklı kaynaklarda gizleme anlamında kullanılan anonimleştirme tekniğidir (Vural, 2018).

Tablo 4. Gizleme Örneği

	Tanımlayıcı		Yarı Tanımlayıcı		
	İsim	Soy İsim	Yaş	Posta Kodu	Meslek
A	Ali	Yılmaz	25	06***	Bilgisayar Mühendisi
B	Mehmet	Gündüz	29	06***	Ressam
C	Veli	Kaya	36	06***	Elektrik Ustası
D	****	*****	23	06120	Elektronik Mühendisi
E	*****	*****	*	*	Oyuncu
F	Ülkü	Çelik	32	06210	Elektrik Teknisyeni

2.2.1.3. Anatomizasyon

Anatomizasyon, tanımlayıcı nitelikler dışında, yarı tanımlayıcı ve hassas niteliklerin arasındaki anlamlı bağlantının koparılması ile gerçekleştirilmektedir. Yöntem iki farklı tablo olarak yayımlanma ile yapılmaktadır. Yarı tanımlayıcı ve hassas nitelikler farklı tablolarda yayımlanır. Aralarındaki bağlantı verilere verilen grup numarası ile sağlanmaktadır. Gerekli durumlarda veriler ayrı ayrı paylaşılmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017). Kovalara ayırma, farklı kaynaklarda anatomizasyon anlamında kullanılan anonimleştirme tekniğidir (Vural, 2018). Tablo 5'te yarı tanımlayıcı nitelik ve Tablo 6'da hassas nitelik tablosu Tablo 2'den ayrılarak yapılmıştır. Verilen sıra numaraları ile tablolar karşılaştırıldığında yarı tanımlayıcı ve hassas niteliklerin kime ait olduğu belirlenmese bile nitelikler anlamlandırılmaktadır.

Tablo 5. Yarı Tanımlayıcı Nitelik

Yarı Tanımlayıcı			
Sıra No	Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu
1	Erkek	25	06310
2	Erkek	29	06370
3	Erkek	36	06050
4	Kadın	23	06120
5	Kadın	27	06165

Tablo 6. Hassas Nitelik

Hassas Nitelik		
Sıra No	Sağlık Bilgisi	Gelir Bilgisi
1	Hepatit	4250
2	Akciğer Kanseri	3500
3	Lenf Kanseri	5750
4	Hepatit	4250
5	Grip	14650

2.2.1.4. Permütasyon

Permütasyon yönteminde, anatomizasyonda olduğu gibi yarı tanımlayıcı ve hassas nitelikler kullanılmaktadır. Genelleme ve gizleme yöntemi birlikte kullanılmaktadır. Veri içerisinde gruplara ayırma gerçekleştirilir ve değerler karıştırılır. Anlamlı bilgi yeterliliğini kaybeder, fakat veriler grup içerisinde korunduğundan işlevi kaybolmamaktadır (Eyüpoğlu, 2018). Hibrit yöntem, farklı kaynaklarda permütasyon anlamında kullanılan anonimleştirme tekniğidir (Vural, 2018). Tablo 7’de Tablo 2 üzerinde permütasyon yöntemi kullanılarak anonimleştirilen veri seti görülmektedir.

Tablo 7. Permütasyon Örneği

Cinsiyet	Yaş	Sağlık Bilgisi	Gelir Bilgisi
Erkek	<30	Enfeksiyon	<5000
Erkek	<30	Kanser	<5000
Erkek	>30	Kanser	>5000
Kadın	<30	Enfeksiyon	<5000
Kadın	<30	Enfeksiyon	>5000
Kadın	>30	Kanser	>5000

2.2.1.5. Pertürbasyon

Pertürbasyon, büyük veri içerisinde bulunan verilerin anlamsızlaştırılması ile gerçekleştirilmektedir. Veriler farklı veri değerleri ile değiştirilerek saldırılara karşı koruma sağlanması düşünülmektedir. Fakat istatistiksel olarak farklılık minimum düzeydedir (Eyüpoğlu, 2018). Pertürbasyon örnekleri Bölüm 2.2.3’te ele alınmaktadır.

2.2.2. Değer düzensizliği sağlamayan anonim hale getirme yöntemleri

Bu yöntemlerde, verilerde ekleme/çıkarma işlemleri yapılmamaktadır. Veri kümesi içerisinde bulunan değer sütun ya da değer satırlarında değişiklik yapılarak verilere anonimleştirme

uygulanmaktadır. Sadece ilgili alan korunur ve verinin genel anlamda bütününde bozulma sağlayarak anonimleştirme gerçekleştirilir. İlgili alandaki veriler işlemler sonrasında anlamlı veri olarak bütünlüğünü korumaktadır. Örnek olarak değişkenleri çıkartma, kayıtları çıkartma, alt ve üst sınır kodlama, bölgesel gizleme ve örnekleme yöntemleri mevcuttur (KVKK, 2017).

2.2.2.1. Değişkenleri çıkartma

Değişkenleri çıkartma, veri içerisinde bulunan değişkenlerin çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Bir ya da daha fazla değişken tamamen çıkarılarak oluşturulan anonimleştirme tekniğidir. Kamu niteliğinde hassas verilerde, istatistiksel yöntem dışından bir alanda kullanılacak verilerde ve uygun tekniğin olmadığı verilerde kullanılmaktadır (KVKK, 2017). Tablo 8’de değişken çıkartma örneği gösterilmektedir.

Tablo 8. Değişken Çıkartma Örneği

TC Kimlik No	İsim	Soy İsim
12345678902	Ali	Yılmaz
23456789012	Mehmet	Gündüz
34567890124	Veli	Kaya
45678901234	Ayşe	Demir
56789012346	Sevim	Şahin

2.2.2.2. Kayıtları çıkartma

Kayıtları çıkartma, veri kümesi içerisinde bulunan ve tekil olan kayıtların ortadan kaldırılması ile gerçekleştirilir. Böylece saldırı esnasında ifşanın kolaylaşması engellenir ve anonimlik güçlendirilir. Veri kümesi diğer kayıtlarla karşılaştırılsa bile kayıt bulunmadığı için tahmin yok seviyesine erişilebilmektedir (KVKK, 2017). Örnek olarak bir veri kümesinde meslek bilgisi önce genelleştirme tekniği uygulanarak düzenlensin. Sonraki aşamada Tablo 9’da tekillik ifade eden sanatçı bilgisi görülmektedir. Meslek bilgisi yerine sadece sanatçının olduğu satırın çıkarılması kayıt çıkarmaya örnek olarak verilebilir.

Tablo 9. Kayıtları Çıkartma Örneği

İsim	Soy İsim	Genelleştirilmiş Meslek Bilgisi
Ali	Yılmaz	Mühendis
Mehmet	Gündüz	Sanatçı
Ayşe	Demir	Mühendis
Ülkü	Çelik	Teknisyen
Mustafa	Aslan	Teknisyen

2.2.2.3. Alt ve üst sınır kodlama

Alt ve üst sınır kodlama, veri kümesi içerisinde bir değişken tanımlanmasıyla, bu değişken grubu içerisinde bulunan değerleri birleştirerek elde etme yöntemidir. Genel olarak değişken düşük veya yüksek olarak tanımlanır ve yeni yapılan tanımlama ile değişkenlerin değerleri değiştirilerek anonimleştirme sağlanır (KVKK, 2017). Örnek olarak Tablo 10’da bir veriye ait yaş ve gelir bilgisi görülmektedir. Net olarak yaş için 32 değeri, gelir bilgisi için 5000 değeri referans alındığında, 32 yaş altı ve eşiti küçük, 32 yaş üstü ise büyük, aynı şekilde gelir bilgisinde 5000 altı ve eşiti düşük, 5000 üstü yüksek olarak tanımlansın. Bu tanımlama

sonucunda Tablo 10'daki yaş ve gelir bilgisi niteliklerinin alt ve üst sınır kodlama uygulanmış değerleri Tablo 11'deki olmaktadır.

Tablo 10. Yaş ve Gelir Bilgisi

İsim	Soy İsim	Yaş	Gelir Bilgisi
Ali	Yılmaz	25	4250
Mehmet	Gündüz	29	3500
Veli	Kaya	36	5750
Ayşe	Demir	23	4250
Sevim	Şahin	27	14650
Ülkü	Çelik	32	5250
Mustafa	Aslan	30	5500
Ahmet	Çetin	43	5875
Zeynep	Kara	45	5300
Fatma	Doğan	48	5600

Tablo 11. Alt ve Üst Kodlama Örneği

İsim	Soy İsim	Yaş	Gelir Bilgisi
Ali	Yılmaz	Küçük	Düşük
Mehmet	Gündüz	Küçük	Düşük
Veli	Kaya	Büyük	Yüksek
Ayşe	Demir	Küçük	Düşük
Sevim	Şahin	Küçük	Yüksek
Ülkü	Çelik	Küçük	Yüksek
Mustafa	Aslan	Küçük	Yüksek
Ahmet	Çetin	Büyük	Yüksek
Zeynep	Kara	Büyük	Yüksek
Fatma	Doğan	Büyük	Yüksek

2.2.2.4. Bölgesel gizleme

Bölgesel gizleme, tahmin edilme olasılığını düşürmek ve anonimliği artırmak için kullanılan bir tekniktir. Bir durum kişi ile ilgili bilgi verirken aynı zamanda aile ile ilgilide de bilgi verdiğinde çevre tarafından ifşa edilme ve tahmin edilme olasılığı arttığı durumlarda kullanılmaktadır (KVKK, 2017). Örnek olarak Tablo 12'de kistik fibroz hastalığı şüphesi olan bireyler ve test sonuçları görülmektedir. Sadece genetik olarak aktarılan bu hastalık, kişi ile ilgili bilgi verdiği için aile hakkında da bilgi vermektedir. Ayrıca 1. ve 4. kayıtlar çocuklar ile ilgili olduğundan istisnai durum yaratmaktadır ve çıkarım yapılma ihtimalini artırmaktadır. Tablo 13'te bölgesel gizleme yöntemi kullanılmış ve çocuklara ait kayıtlarda gizleme gerçekleştirilmiştir.

Tablo 12. Kistik Fibroz Test Sonuçları

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Test Sonucu
Erkek	7	Öğrenci	Pozitif
Erkek	29	Ressam	Pozitif
Erkek	21	Öğrenci	Negatif
Kadın	6	Öğrenci	Pozitif
Kadın	27	Oyuncu	Negatif

Tablo 13. Bölgesel Gizleme Örneği

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Test Sonucu
Erkek	-	Öğrenci	Pozitif
Erkek	29	Ressam	Pozitif
Erkek	21	Öğrenci	Negatif
Kadın	-	Öğrenci	Pozitif
Kadın	27	Oyuncu	Negatif

2.2.2.5. Örneklemeye

Örneklemeye yönteminde, bir veri kümesine ait kümeden bir küme oluşturularak işleme başlanılmaktadır. İlk veri kümesi içerisinde bulunan herkes bu alt kümede yer alamayacağı için tahmin etme olasılığı düşürülmüş olur (KVKK, 2017). Örnek olarak Z kuşağı üzerinde araştırma yapmak isteyen bir firma açık bir veri kümesine erişerek bilgilere ulaşabilmektedir. Doğum yerleri üzerinden araştırma yapmayı planlayan firma üzerinden yapılacak işlemde yaşanan yer bilgisi de bulunmaktadır. Eğer örnekleme ile anonimleştirme gerçekleşmişse bu bilgilerden birisi yani doğum yeri ve yaşanan yer bilgilerinden birisi yok edilecek ve tahmin olasılığı düşürülecektir.

2.2.2.6. Global kodlama

Global kodlama, Bölüm 2.2.2.3'te anlatılan alt ve üst sınır kodlama yönteminin farklı bir türüdür. Alt ve üst sınır kodlamada rakamsal değerler söz konusu iken rakam içermeyen durumlarda global kodlama kullanılmaktadır. Tahmin olasılığını düşürmek için kullanılmaktadır. Veri seti içerisinde bulunan değerler genellemede olduğu gibi farklılaşır ya da ortak anlamda buluşarak verideki değerler değişmektedir (KVKK, 2017). Tablo 14'te görülen hekim bilgileri Tablo 15'te global kodlama ile düzenlenmiş ve tahmin olasılığını düşürülmüştür.

Tablo 14. Hekim Bilgileri

Cinsiyet	Meslek	Medeni Hali
Erkek	Diş Hekimi	Bekâr
Erkek	Psikiyatrist	Bekâr
Erkek	Hematolog	Evli
Kadın	Cerrah	Bekâr
Kadın	Kardiyolog	Evli
Kadın	Nörolog	Bekâr

Tablo 15. Global Kodlama Örneği

Cinsiyet	Meslek	Medeni Hali
Erkek	Hekim	Bekâr
Erkek	Hekim	Bekâr
Erkek	Hekim	Evli
Kadın	Hekim	Bekâr
Kadın	Hekim	Evli
Kadın	Hekim	Bekâr

2.2.3. Değer düzensizliği sağlayan anonim hale getirme yöntemleri

Bu yöntemler, genel olarak bozulma üzerine gerçekleştirilen anonimleştirme teknikleridir. Veri kümesi üzerindeki istatistiksel sonuçlar değişmeden kayıt değerlerinde bozulma yapılması amaçlanmaktadır. Mikro birleştirme, veri değiş tokuşu, gürültü ekleme ve tekrar örnekleme gibi farklı yöntemleri mevcuttur (KVKK, 2017).

2.2.3.1. Mikro birleştirme

Mikro birleştirme yönteminde, elde olan veri kümesi içerisindeki veriler, öncelikle anlam oluşturacak şekilde sıralanmaktadır. Sonra öncelik olarak alt kümeler oluşturulur. Oluşturulan alt kümelerde seçilen değişken değerlerin ortalaması alınarak elde edilen veri ile değiştirilmektedir. Bu sayede istatistiksel durumlarda çıkacak olan sonuç da değişmeyecektir (KVKK, 2017). Tablo 2 üzerinde gelir bilgisine göre sıralama yapılarak elde edilen veri kümesi Tablo 16'daki gibidir. Tablo 17'de ise bu veri kümesinin mikro birleştirme tekniği uygulanmış hali gösterilmektedir. Burada ilk olarak gelir bilgisi için yakın değerlerin olduğu kayıtlar üçerli olarak gruplandırılmış ve ardından bu grupların ortalama değeri ilgili kayıtlardaki değerler ile değiştirilmiştir.

Tablo 16. Düzenlenmiş Veri Kümesi

Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	06310	Bilgisayar Mühendisi	4250
Kadın	23	06120	Elektronik Mühendisi	4250
Kadın	45	06450	Tarih Öğretmeni	5300
Kadın	48	06378	Edebiyat Öğretmeni	5600
Erkek	36	06050	Elektrik Ustası	5750
Erkek	43	06340	İnşaat Ustası	5875

Tablo 17. Mikro Birleştirme Örneği

Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	06310	Bilgisayar Mühendisi	4600
Kadın	23	06120	Elektronik Mühendisi	4600
Kadın	45	06450	Tarih Öğretmeni	4600
Kadın	48	06378	Edebiyat Öğretmeni	5742
Erkek	36	06050	Elektrik Ustası	5742
Erkek	43	06340	İnşaat Ustası	5742

2.2.3.2. Veri değiş tokuşu

Veri değiş tokuşu, veri kümesi içerisinde benzer bilgiler içeren kayıtlardaki bir değişkenin, diğer bir kayıttaki değişken ile değiştirilmesidir (KVKK, 2017). Bir meslek grubundaki bireyin gelir bilgisinin, aynı meslek grubu içerisindeki diğer bir bireyin meslek bilgisi ile değiştirilmesi veri değiş tokuş işlemine örnek olarak gösterilebilir. Tablo 18'de meslek ve gelir bilgisinin olduğu veri kümesi görülmektedir. Veri değiş tokuş işlemi sonrasında oluşan veri kümesi ise Tablo 19'da gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere mesleğin usta olduğu 2. ve 4. kayıtların gelir bilgileri değiş tokuş yapılmıştır. Ayrıca mesleğin öğretmen olduğu 5. ve 6. kayıtlarda da gelir bilgileri birbirleri ile değiştirilmiştir.

Tablo 18. Meslek ve Gelir Bilgisi

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	Mühendis	4250
Erkek	36	Usta	5750
Kadın	23	Mühendis	4250
Erkek	43	Usta	5875
Kadın	45	Öğretmen	5300
Kadın	48	Öğretmen	5600

Tablo 19. Veri Değiş Tokuşu Örneği

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	Mühendis	4250
Erkek	36	Usta	5875
Kadın	23	Mühendis	4250
Erkek	43	Usta	5750
Kadın	45	Öğretmen	5600
Kadın	48	Öğretmen	5300

2.2.3.3. Gürültü ekleme

Gürültü ekleme, veri kümesi içerisinde belirli bozulmalar yapılarak sağlanmaktadır. Bu bozulma ekleme ve çıkarma işlemi sonucunda oluşmaktadır. Yöntem, sayısal yani rakamsal değerler üzerinde gerçekleşmektedir ve tüm değerlere eşit şekilde uygulanmaktadır (KVKK, 2017). Örnek olarak, Tablo 2’de bulunan gelir bilgisi sayısal niteliğini kullanalım. Tablo 2’nin düzenlenmiş hali Tablo 20’de görülmektedir. Tablo 21’de ise gürültü ekleme yöntemi kullanılarak verilerde bozulma yapılmıştır. Bu bozulma gelir düzeyine +1000 işlemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 20. Gelir Bilgisi Tablosu

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	Mühendis	4250
Erkek	36	Usta	5750
Kadın	23	Mühendis	4250
Erkek	43	Usta	5875
Kadın	45	Öğretmen	5300
Kadın	48	Öğretmen	5600

Tablo 21. Gürültü Ekleme Örneği

Cinsiyet	Yaş	Meslek	Gelir Bilgisi
Erkek	25	Mühendis	5250
Erkek	36	Usta	6750
Kadın	23	Mühendis	5250
Erkek	43	Usta	6875
Kadın	45	Öğretmen	6300
Kadın	48	Öğretmen	6600

2.2.4. Anonim hale getirmeyi kuvvetlendirici istatistik yöntemler

Anonim hale getirmeyi kuvvetlendirici istatistik yöntemler, kişisel verilerde güvenlik sağlama amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak veri kümesi içerisinde bulunan kişilerin kimlik tespitinin yapılma olasılığı düşürülmeye çalışılmaktadır. Bu sayede anonimlik güçlendirilmektedir. Bir diğer amaç ise küme içerisinden elde edilecek faydanın da yüksek tutulmasıdır. k -anonimlik, l -çeşitlilik, t -yakınlık ve diferansiyel gizlilik gibi teknikler, anonim hale getirmeyi kuvvetlendirici istatistik yöntemlerden bazılarıdır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017; Vural, 2018).

2.2.4.1. k -anonimlik

Veri anonimleştirmede birçok farklı model kullanılmaktadır. Bu modellerin başında k -anonimlik modeli gelmektedir. k -anonimlik, Sweeney (2002) tarafından önerilmiş ve geliştirilmiştir. Oluşturulan model ile belirli bir veri kümesinde bulunan veriler anonimleştirilmektedir. Bu modelde veri kümesinde bulunan belirli ölçütlere göre kişisel verilerin ya da kişiye özgü verilerin tanımlanmasının ve kimlik tespitinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Bu sebeple kişisel veriler işlenirken veri kümesi içerisinde anonimleştirme işlemi ile kimlik tespiti bulma ihtimali azalacaktır. Aynı verilere sahip olan kişilerin tanımlayıcı nitelikleri çıkarılarak işlenir. Sonraki işlem ise hassas nitelikli verilerin tespitini zorlaştırmaktır. Bu işlem $k-1$ kuralı ile gerçekleştirilmektedir. k adet kayıt $k-1$ seviyesinde yenilenecek yeni bir tablo oluşturulmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017; Sweeney, 2002; Vural, 2018). Tablo 22’de cinsiyet, yaş ve posta kodunun yarı tanımlayıcı, sağlık bilgisinin ise hassas nitelik olduğu örnek bir veri kümesi mevcuttur. Bu veri kümesi üzerinde k -anonimlik ($k=2$) tekniği uygulanmıştır. Yarı tanımlayıcı nitelikler üzerinde gizleme ve genelleme yöntemleri kullanılarak 4 adet eşdeğerlik grubu elde edilmiştir. Sonuç olarak 2-anonim grupların olduğu veri kümesi Tablo 23’te görülmektedir.

Tablo 22. Örnek Veri Kümesi

Sıra No	Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Sağlık Bilgisi
1	Erkek	35	15325	Gastrit
2	Kadın	38	15340	Ülser
3	Kadın	42	15160	Lenf Kanseri
4	Kadın	49	15620	Lenf Kanseri
5	Erkek	52	15755	Diyabet
6	Erkek	58	15480	Gastrit
7	Erkek	65	15830	Karaciğer Kanseri
8	Erkek	66	15260	Karaciğer Kanseri

Tablo 23. k -anonimlik Örneği ($k=2$)

Sıra No	Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Sağlık Bilgisi
1	*	<40	153**	Gastrit
2	*	<40	153**	Ülser
3	Kadın	[40-50]	15***	Lenf Kanseri
4	Kadın	[40-50]	15***	Lenf Kanseri
5	Erkek	[50-60]	15***	Diyabet
6	Erkek	[50-60]	15***	Gastrit
7	Erkek	>60	15***	Karaciğer Kanseri
8	Erkek	>60	15***	Karaciğer Kanseri

2.2.4.2. *l*-çeşitlilik

l-çeşitlilik, Machanavajjhala ve ark. (2007) tarafından *k*-anonimlik modelinin zayıflıklarının üstesinden gelmek için önerilen bir modeldir. Aynı nitelik değerlerinin olduğu gruplardaki hassas niteliklere odaklanarak çeşitlilik oluşturma amaçlanmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017; Sweeney, 2002; Vural, 2018). Tablo 22'deki örnek veri kümesi üzerinde 2-anonimlik uygulanması ile oluşturulan Tablo 23'te görüldüğü üzere 2. ve 4. gruplardaki hassas nitelik değerleri aynıdır. Yani burada örneğin cinsiyet için erkek ve yaş için >60 değerlerine sahip olan bir kişiyi tanıyan saldırgan, bu kişinin karaciğer kanseri olduğunu kolay bir şekilde öğrenebilir. Sadece yarı tanımlayıcı niteliklerin değerlerine odaklanmanın yeterli olmadığı bu gibi durumlarda *l*-çeşitlilik yöntemi devreye girmektedir. Tablo 22'deki örnek veri kümesinde 4-anonimlik ve 3-çeşitlilik uygulanarak elde edilen veri kümesi Tablo 24'te gösterilmektedir. Tablodan görüldüğü üzere her bir eşdeğerlik grubu içerisinde 4 kayıt ve 3 farklı sağlık bilgisi değeri vardır. Böylece aynı bilgilere sahip olan saldırganın, kişinin karaciğer kanseri olduğunu öğrenme ihtimali azalmıştır. Sonuç olarak daha iyi bir anonimleştirme sağlanmıştır.

Tablo 24. *l*-çeşitlilik Örneği ($k=4, l=3$)

Sıra No	Cinsiyet	Yaş	Posta Kodu	Sağlık Bilgisi
1	*	[30-50]	15***	Gastrit
2	*	[30-50]	15***	Ülser
3	*	[30-50]	15***	Lenf Kanseri
4	*	[30-50]	15***	Lenf Kanseri
5	Erkek	[50-70]	15***	Diyabet
6	Erkek	[50-70]	15***	Gastrit
7	Erkek	[50-70]	15***	Karaciğer Kanseri
8	Erkek	[50-70]	15***	Karaciğer Kanseri

2.2.4.3. *t*-yakınlık

t-yakınlık, *l*-çeşitlilik yönteminin kişisel veri üzerinde uygulanırken yetersiz kalması durumunda uygulanmaktadır. Veri kümeleri öncelikle alt sınıflara ayrılmaktadır. Bu ayrılma veri kümesinin içerisinde birbirlerine yakın verilerin gruplanması ile sağlanmaktadır. Gruplama şekillerinde *t*-yakınlık ve *l*-çeşitlilik yöntemlerinin yanı sıra kendi içerisinde de mahremiyet sağlamak için gruplama yapılmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; KVKK, 2017; Sweeney, 2002; Vural, 2018).

2.2.4.4. Diferansiyel gizlilik

Diferansiyel gizlilik, Dwork (2008) tarafından ortaya atılan bir yöntemdir. *k*-anonimlik, *l*-çeşitlilik ve *t*-yakınlık yöntemlerini kullanarak anonimleştirme sağlamaktadır. Veri kümeleri veri tabanı üzerinde bulunmakta ve koruma, veri tabanına yapılacak olan saldırılara karşı olarak yapılmaktadır. Bir veri tabanı içerisinde bulunan değerlere gürültü ekleme yöntemi ile anonimleştirme sağlanması amaçlanmaktadır. Değerlere gürültü ekleme diferansiyel gizlilikte en fazla kullanılan yöntemdir (Vural, 2018).

2.3. Anonim Hale Getirme Yönteminin Seçilmesi

Veriler, veri sorumluları tarafından işlenmektedir. Bir veri sorumlusu seçeceği anonimleştirme yöntemi Bölüm 2.2 içerisinde işlenen bilgiler dahilinde kendi elindedir. Veri sorumlusu, veriyi işleyen kurum ve veriyi kullanan kişiler hukuk karşısında sorumlu olmaktadır. Veri kontrolörü, veriyi işlerken verinin niteliği, çeşitliliği, fiziki ortamda bulunan yapısı, işleme sıklığı,

dağıtıklık/merkezlilik oranı, büyüklüğü, sağlanan fayda, aktarılan taraf güvenliği, işleme aracı, bozulma durumu, zararı, zarar ile ortaya çıkacak olan etkiyi, yetki kontrolünü ve saldırı karşı dayanıklılığını dikkate almalıdır (KVKK, 2017).

2.4. Bilgi Kaybını Ölçme

Veriler, işlenirken hem kanun tarafından oluşan sebepler hem de kendi verilerini koruma dahilinde işlenmektedir. Bu sebeple çeşitli anonimleştirme yöntemleri uygulandığı Bölüm 2.2’de anlatılmıştır. Veriler işlenirken bu yöntemler sebebi ile ya da gönderimde gerçekleşen aksilikler dahilinde bozulmaya uğramaktadır. Yine aynı şekilde saldırı karşısında da veriler bozulmakta ve kayba uğramaktadır. Bu durumlar veri kümesi bilgi kaybı olarak tanımlanabilmektedir. Veri kümesinin kullanılabilirliği gizlilik kadar önemli olmaktadır. Farklı yöntemler ile bilgi kaybı ölçülebilmektedir. Bu yöntemlere örnek olarak; Kullback–Leibler uzaklığı, minimal bozulma, belirlenebilirlik metriği, ağırlık kesinlik cezası, bilgi teorik metrikleri ve normalize ortalama eşdeğerlik sınıf boyutu metriği gösterilebilir (KVKK, 2017; Vural, 2018).

Kullback–Leibler uzaklığı, görelî entropi ya da görelî belirsizlik olarak bilinmektedir. Uzaklık, iki farklı olasılık arasında ölçülmektedir. Ölçümün farkı ise bilgi temelli olmasıdır. Mesafe her zaman pozitif değer olmalıdır. Mesafenin sıfır olması iki veri arasında bir fark olmadığı anlamına gelmektedir. Minimal bozulma, ceza puanı sistemine göre ölçülmektedir. Genelleştirme işlemi yapılarak toplam genelleştirilme yapılan değer miktarı kadar ceza işlenir. İşlenen ceza puanları toplanarak veride anonimleştirme hesabı yapılmaktadır. Bu sayede bilgi kaybı ölçülmektedir. Bu yöntem literatürde veri fayda metriği ismi ile de anılmaktadır. Ayırt edilebilirlik metriği (discernibility method-DM) de minimal bozulma da olduğu gibi ceza puanı sistemi üzerinden hesaplanmaktadır. Bu yöntemde bir veri a büyüklüğünde bir gruba dahil ise bu veri a^2 ceza puanına sahiptir. Büyük veride ise bu işlem $DM(T)=\sum(a_i)^2$ olacak şekilde hesaplanmaktadır (Bayardo & Agrawal, 2005; Vural, 2018).

Sınıflandırma yöntemi, Iyengar (2002) tarafından önerilmiştir. Veriler hem anlamlı bilgi hem de gürültü ekleme yöntemi ile bozulmuş bilgi içermektedir. Fakat bilgi elde edilirken veriyi gürültüden kurtarmak gereklidir. Trade–off yöntemi, Fung ve ark. (2005) tarafından önerilmiştir. Mahremiyet ve fayda ikileminde denge sağlamaya odaklıdır. Aradaki denge kurulduğunda veri kaybı bulunabilmektedir. I-Loss, verilerin kategorize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bir değer genelleme mantığı ile genelleştirilir ve formül yardımı ile bulunur. $I-Loss(v_g)=|V_g|-1/|DA|$ formülü ile hesaplanan I-Loss yönteminde, V_g düğümüne ait sayı, DA ise V_g ’nin A tabanında değer sayısını ifade etmektedir (Vural, 2018).

2.5. Saldırı Türleri

Büyük veri kullanımında mahremiyet konusu çok büyük öneme sahiptir. Mahremiyet modellerinin belirli açıklıkları bulunmaktadır. Bu açıklıklar üzerinden yapılan saldırılar ayrıca yeni modellerin gelişmesi için de öncülük etmektedir. Kimlik ifşası/bağlantı saldırısı, homojenlik saldırısı, benzerlik saldırısı, geçmiş bilgisi saldırısı, olasılıksal çıkarım saldırısı, arka plan bilgi saldırıları, çarpıklık saldırıları, anlamsal benzerlik saldırıları, minimalite saldırılar ve de-finetti saldırılar bu saldırılara örnek olarak gösterilebilir (Eyüpoğlu, 2018; Koca & Aydın, 2017; Vural, 2018).

2.5.1. Kimlik ifşası/bağlantı saldırısı

Bu saldırı şeklinde saldırganlar; hassas verileri, yarı tanımlayıcı nitelikleri üzerinden inceleyerek ortaya çıkarmaya çalışmaktadır. Bir başka deyişle mevcut veri setinde yarı tanımlayıcı değerler üzerinden bir kişinin hassas nitelik değerinin bulunmaya çalışılması kimlik ifşası saldırısı olarak

tanımlanmaktadır. Bu saldırıyı önlemek için k -anonimlik yöntemi kullanılmaktadır (Eyüpoğlu, 2018).

Örnek olarak Tablo 22'deki 58 yaşındaki erkeği tanıyan bir saldırgan kişinin hassas verisi olan sağlık bilgisine ulaşabilmektedir ve gastrit hastası olduğu öğrenebilmektedir. Ancak Tablo 22'deki veri kümesinin k -anonimlik uygulanmış hali olan Tablo 23'te aynı saldırgan kişinin gastrit hastası olduğu sonucuna varamamaktadır. Kişinin diyabet hastalığına sahip olma ihtimali gastrit hastası olma ihtimali ile aynıdır. Sonuç olarak Tablo 23'teki veri kümesi kimlik ifşası/bağlantı saldırısına karşı dayanıklıdır.

2.5.2. Homojenlik saldırısı

Bir veri seti üzerinde k -anonimlik yöntemi uygulanarak veri kümesi saldırılara karşı dayanıklı hale getirilir. Ancak anonim grupların olduğu kayıtlarındaki hassas niteliklerin değerlerinin aynı olduğu durumda k -anonimlik etkisini kaybetmektedir. Bu tür saldırılar, homojenlik saldırısı olarak adlandırılmaktadır. Homojenlik saldırısı ihtimalinin olduğu durumlarda l -çeşitlilik yöntemi kullanılmaktadır. Homojenlik saldırısının engellenmesi için benzer hassas nitelikleri aynı grup içerisine almamaya dikkat edilmelidir. Kayıt çoğaltma yöntemi bu saldırıya karşı kullanılabilir. Kayıt çoğaltma ile homojen hassas nitelikler heterojen hale gelmekte ve saldırı sonucu tanımlanma riski azalmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; Vural, 2018).

Tablo 23'teki 2. ve 4. eşdeğerlik gruplarındaki hassas nitelik değerleri aynıdır ve bu durum homojenlik saldırısına yol açmaktadır. l -çeşitlilik yönteminin ($k=4$, $l=3$) uygulandığı Tablo 24'te görüldüğü üzere bu saldırının üstesinden gelinmiştir.

2.5.3. Benzerlik saldırısı

Paylaşılan anonim veri kümelerinde hassas değerler farklı olsa da benzerlik gösterebilmektedir. l -çeşitlilik yöntemi uygulansa bile kişilere ait hassas bilgiler ifşa olabilmektedir. Bu saldırılara benzerlik saldırıları denilmektedir (Eyüpoğlu, 2018).

Örnek olarak Tablo 23'teki 1. eşdeğerlik grubundaki hassas nitelikler aynı olmasa da benzerdir. Tablo üzerinden saldırı yapan kötü niyetli bir kişi, tanıdığı kişinin sağlık bilgisinin yani hastalığının mide ile ilgili olduğunu öğrenebilir.

2.5.4. Geçmiş bilgisi saldırısı

Veri seti ile ilgili genel bilgiye sahip ya da veri seti içerisinde olan kişisel bilgiler dahilinde bilgi sahibi bir saldırganın, veri kümesi içerisinde bu bilgilerini kullanarak anlamlandırma yapmasına geçmiş bilgisi saldırısı denilmektedir (Eyüpoğlu, 2018; Vural, 2018).

2.5.5. Olasılıksal çıkarım saldırısı

Bir veri seti içerisinde aynı gruplandırma içerisinde olan bir hassas nitelik değeri diğer hassas nitelik değerlerine göre daha fazla bulunuyorsa saldırgan, olasılıksal olarak daha fazla olan değeri düşünmektedir. Bu duruma olasılıksal çıkarım saldırısı denilmektedir. Ayrıca bu durum saldırganın çoğunluk olan hassas nitelik için belirli yarı tanımlayıcı değerlerde daha fazla bulunduğunu öğrenmesine sebep olmaktadır (Eyüpoğlu, 2018; Vural, 2018).

2.5.6. Arka plan bilgi saldırısı

Teorik olarak Bölüm 2.5.4’te anlatılan geçmiş bilgisi saldırısına benzemektedir. Saldırgan öncelik olarak farklı kurum ve kuruluşlar tarafından yayımlanan veri setleri üzerinden elde ettiği bilgileri kullanmaktadır. Bu veri setleri sosyal medya, dergi ve gazete olabilmektedir. Veri setlerinin bağlama yöntemi ile iki farklı kaydın bilinen bilgi dahilinde değerlendirilmesi, veri mahremiyet sorununa yol açmaktadır. Saldırıları esnasında kullanılan bilgileri engellemek pek mümkün değildir. Bu sebeple genel olarak kişisel veri kuralları geçerlidir ve güvenlik önlemleri dikkate alınmalıdır (Chen ve ark., 2007; Vural, 2018).

2.5.7. Çarpıklık saldırıları

Bir veri kümesi içerisinde hassas niteliklerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve bu durum dikkate alınarak dağılım yapılması mahremiyet için oldukça önemlidir. Bir anlamda Bölüm 2.5.5’te anlatılan olasılıksal çıkarım saldırısına benzemektedir. Fazla sayıda bulunan hassas nitelik değerleri genel istatistiksel dağılımda çarpıklık oluşturmaktadır. Değerler çarpık olduğu için saldırı karşısında zayıf olacak ve çarpıklık giderilmediği sürece koruma sağlanamayacaktır (Vural, 2018; Xu ve ark., 2010).

2.5.8. Anlamsal benzerlik saldırıları

Yayımlanmış anonim bir veri seti, gruplar dahilinde hassas nitelik değerlerinin birbirinden farklı olması mahremiyet için yeterli olmamaktadır. Anlamsal benzerlikler yani sezgisel benzerliklerin yardımı olması sebebiyle homojenlik saldırısı ile benzemektedir. Ayrıca anlamsal benzerlik saldırısı, Bölüm 2.5.3’te anlatılan benzerlik saldırısı ile de benzemektedir. Engellenmesi için öncelikle veri seti içerisinde yer alan benzerlik durumlarının hesaplanması gerekmektedir. Sonra bu değerlerin farklı gruplara ayrılması ve aynı şekilde farklı gruplarda yer alması sağlanmaktadır. Bir başka deyişle t -yakınlık yöntemi kullanılmalıdır (Vural, 2018; Wang ve ark., 2014).

2.5.9. Minimalite saldırıları

Saldırıların, anonimleştirme algoritmaları veya sistemler hakkında bilgi sahibi olduğunda gerçekleşebileceği söylenmektedir (Wong ve ark., 2007). Bu saldırı türü minimal durumlar düşünülerek kurulmuştur. Bir başka deyişle anonimleştirme en alt düzeyde kalmalı ve gerekli durum dışında anonimleştirme yapılmamalıdır (Vural, 2018; Wong ve ark., 2007).

2.5.10. De-finetti saldırıları

De-finetti saldırıları, Kifer (2009) tarafından ortaya atılan ve de-finetti teoremi temelli bir fikirdir. Bu teorem ile değiştirilebilirlik kavramı birlikte kullanılarak mahremiyetin ifşası araştırılmıştır. Arka plan bilgisine ihtiyaç duymadığı için diğer saldırı türlerinden ayrılmaktadır. Makine öğrenmesi temellidir. İlgili kayıt üzerinden hassas olmayan nitelikler dahilinde öğrenme yapılarak saldırı gerçekleştirilmektedir (Kifer, 2009; Vural, 2018).

3. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde son yıllarda yapılan veya temel teşkil eden çalışmalar incelenmektedir. Büyük veride mahremiyet ya da gizlilik koruması, anonimleştirme yöntemleri ve saldırı türleri konusunda yapılan literatürdeki çalışmalar Tablo 25’te özetlenmekte ve karşılaştırılmaktadır. Tabloda çalışmanın ismi, yazarları, yayımlandığı yıl ve konusu hakkında bilgilere yer

verilmektedir. Araştırma alanının önemli ve güncel olduğu incelenen çalışmaların sonuçlarından görülebilmektedir.

Tablo 25. Literatürdeki Çalışmalar

Çalışma	Yazar	Yıl	Çalışmanın Konusu
Büyük veride kişi mahremiyetinin korunması	Eyüpoğlu ve ark.	2017	Büyük veride güvenlik ve mahremiyet alanında var olan çalışmalar incelenmiştir.
Büyük veride siber güvenlik açıkları ve güvenlik yöntemleri üzerine bir araştırma	Koca ve Aydın	2017	Büyük veri güvenliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalar araştırılmıştır.
Veri mahremiyeti: saldırılar, korunma ve yeni bir çözüm önerisi	Vural	2018	Büyük veride güvenlik ve mahremiyet alanında var olan çalışmalar incelenmiş ve çoğaltma tekniği öne sürülmüştür.
<i>k</i> -anonymity: a model for protecting privacy	Sweeney	2002	<i>k</i> -anonimlik modeli ileri sürülmüştür.
<i>t</i> -closeness: privacy beyond <i>k</i> -anonymity and <i>l</i> -diversity	Li ve ark.	2007	<i>t</i> -yakınlık modeli önerilmiştir.
Sağlık hizmetlerinde anonimlik: dağıtık yapılar için ideal bir veri paylaşım modeli	Canbay	2014	Sağlık alanında veri anonimleştirmede yeni model önerilmiştir.
Büyük veri uygulamalarında kişisel veri mahremiyeti	Akıncı	2019	Büyük veride güvenlik ve mahremiyet için sorunların tespiti ve çözüm önerileri geliştirilmesi anlatılmaktadır.
Kişisel verilerin anonimleştirilmesinin iyileştirilmesine yönelik bir model geliştirilmesi ve e-devlet alanında uygulanması	Afyonluoğlu	2019	Veriden sağlanan faydanın en aza indirildiği ve anonimleştirmenin en yüksek seviyede yapıldığı bir algoritma modeli öne sürülmüştür.
Büyük veri ve açık veri analitiği: yöntemler ve uygulamalar	Sağıroğlu	2017	Büyük veri analitiğinde güvenlik ve mahremiyetin önemi ve gelişimi bu çerçevede içerisinde yapılan çalışmalar ve uygulamalar anlatılmıştır.
Tıbbi belgeleme	Ünal	2017	Tıp alanı içerisinde belgeleme şekilleri anlatılmaktadır.
Kişisel verilerin silinmesi, yok edilmesi veya anonim hale getirilmesi rehberi	KVKK	2017	6698 sayılı kanuna göre verilerin işleme koşulları ve anonimleştirme teknikleri anlatılmaktadır.
Büyük veride etkin gizlilik koruması için yazılım tasarımı	Eyüpoğlu	2018	Büyük veride güvenlik ve mahremiyet alanında etkin gizlilik algoritması önerilmiştir.
Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için kavramsal model önerileri	Canbay ve ark.	2020	Mahremiyet koruma kullanan veri yayınlama modelleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeni bir model önerilmiştir.

Büyük veri analitiği, güvenliği ve mahremiyeti	Sağiroğlu ve ark.	2016	Büyük veri analitiği, güvenliği ve mahremiyeti incelenmiştir.
An efficient big data anonymization algorithm based on chaos and perturbation techniques	Eyupoglu ve ark.	2018	Kaos ve pertürbasyon tekniklerine dayanan yeni bir büyük veri anonimleştirme algoritması önerilmiştir.
Derin öğrenme ile büyük veri kümelerinden saldırı türlerinin sınıflandırılması	Ahmetoğlu ve Daş	2019	Saldırlara karşı geliştirilen model sunulmuştur.
Privacy and security problems in healthcare 4.0	Kara ve Eyüpoğlu	2020	Sağlık 4.0'daki mahremiyet ve güvenlik sorunları ele alınmıştır. Ayrıca bu sorunların çözümüne ilişkin geliştirilen tekniklerden bahsedilmiştir.
Anonymization methods for privacy-preserving data publishing	Kara ve Eyüpoğlu	2021	Gizlilik korumalı veri yayınlama için geliştirilen anonimleştirme yöntemleri ve modelleri incelenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada büyük veri kavramı içerisinde güvenlik ve mahremiyetin öneminden bahsedilmiştir. Büyük veri çerçevesinde verilerin gizliliğinin korunması için gerekli anonimleştirme yöntemleri incenmiş, kişisel bilgilerin ifşasına yönelik geliştirilen saldırı türleri ve bu saldırı türlerine karşı geliştirilen anonimleştirme tekniklerine değinilmiştir. Anonimleştirme teknikleri, örnek veri kümeleri üzerinde uygulanarak konunun daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

Günümüzde veri kavramının ön plana çıkması ve hukuksal düzenlemelerden doğan sorumluluklar verilerin işlenmesi ve saklanmasına etki etmiş, güvenlik kavramının önemini göstermiştir. Bu yükümlülükler karşısında veri bilimciler anonimleştirme tekniklerini geliştirmiş, ayrıca verilere karşı yapılan saldırı durumlarında veri kaybı ve bozulması yaşanmaması için farklı teknikler geliştirilmeye devam etmektedir. Dijital dünyanın her geçen gün gelişmesi ve verilerin dijital ortamlara aktarılması; veri güvenliğinin ve mahremiyetinin önemini göstermeye devam etmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Makaleye değerli yorumları ile katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Afyonluoğlu, M. (2019). *Kişisel verilerin anonimleştirilmesinin iyileştirilmesine yönelik bir model geliştirilmesi ve E-devlet alanında uygulanması* [Doktora tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ahmetoğlu, H., & Daş, R. (2019, September). Derin öğrenme ile büyük veri kümelerinden saldırı türlerinin sınıflandırılması. In *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (1-9). IEEE.
- Akıncı, A. N. (2019). *Büyük veri uygulamalarında kişisel veri mahremiyeti* [Uzmanlık tezi]. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Sektörler ve Kamu Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Bayardo, R. J., & Agrawal, R. (2005, April). Data privacy through optimal k -anonymization. In *21st International Conference on Data Engineering (ICDE'05)*, 217-228, IEEE.
- Canbay, P. (2014). *Sağlık hizmetlerinde anonimlik: Dağıtık yapılar için ideal bir veri paylaşım modeli* [Yüksek lisans tezi]. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Canbay, Y., Vural, Y., & Sağiroğlu, Ş. (2020). Mahremiyet korumalı büyük veri yayınlama için kavramsal model önerileri. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 785-798.
- Chen, B. C., LeFevre, K., & Ramakrishnan, R. (2007). Privacy skyline: Privacy with multidimensional adversarial knowledge. In *2007 International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*, 770-781.
- Dwork, C. (2008, April). Differential privacy: A survey of results. In *International conference on theory and applications of models of computation* (pp. 1-19). Springer, Berlin.
- Eyüpoğlu, C. (2018). *Büyük veride etkin gizlilik koruması için yazılım tasarımı* [Doktora tezi]. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eyüpoğlu, C., Aydın, M. A., Sertbaş, A., Zaim, A. H., & Öneş, O. (2017). Büyük veride kişi mahremiyetinin korunması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 177-184.
- Eyupoglu, C., Aydın, M. A., Zaim, A. H., & Sertbas, A. (2018). An efficient big data anonymization algorithm based on chaos and perturbation techniques. *Entropy*, 20(5), 373.
- Fung, B. C., Wang, K., & Yu, P. S. (2005, April). Top-down specialization for information and privacy preservation. In *21st International Conference on Data Engineering (ICDE'05)*, 205-216. IEEE.
- Iyengar, V. S. (2002, July). Transforming data to satisfy privacy constraints. In *Proceedings of the Eighth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 279-288.
- Kara, B. C., & Eyüpoğlu, C. (2020, October). Privacy and security problems in healthcare 4.0. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 1-12. IEEE.

- Kara, B. C., & Eyüpoğlu, C. (2021, October). Anonymization methods for privacy-preserving data publishing. In *3rd International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAME 2021)*. Berlin.
- Kifer, D. (2009, June). Attacks on privacy and deFinetti's theorem. In *2009 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 127-138.
- Koca, M., & Aydın, M. A. (2017, October). A survey of cyber security vulnerabilities and security methods on big data. In *8th International Advanced Technologies Symposium* 1-7.
- KVKK. (2017). Kişisel verilerin silinmesi, yok edilmesi veya anonim hale getirilmesi rehberi. *Kişisel Verileri Koruma Kurumu*. Ankara.
- Li, N., Li, T., & Venkatasubramanian, S. (2007, April). t -closeness: Privacy beyond k -anonymity and l -diversity. In *2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering*, 106-115. IEEE.
- Machanavajjhala, A., Kifer, D., Gehrke, J., & Venkatasubramanian, M. (2007). l -diversity: Privacy beyond k -anonymity. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 1(1), 3-es.
- Sağiroğlu, Ş. (2017). Büyük veri ve açık veri analitiği: yöntemler ve uygulamalar. *Grafiker Yayınları*. Ankara.
- Sağiroğlu, Ş., Sinanç Terzi, D., Terzi, R., Canbay, Y., Gündüz, S., Arslan, B., Ayaydın, A., & Gökalp, A. B. (2016). Büyük veri analitiği, güvenliği ve mahremiyeti. *Gazi Üniversitesi*. Ankara.
- Sweeney, L. (2002). k -anonymity: A model for protecting privacy. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(5), 557-570.
- Ünal, N. (2017). Tıbbi belgeleme. *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, Eskişehir.
- Vural, Y. (2018). Veri mahremiyeti: Saldırıları, korunma ve yeni bir çözüm önerisi. *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 4(2), 21-34.
- Wang, H., Han, J., Wang, J., & Wang, L. (2014). (1, ϵ)-diversity--a privacy preserving model to resist semantic similarity attack. *Journal of Computers*, 9(1), 59-65.
- Wong, R. C. W., Fu, A. W. C., Wang, K., & Pei, J. (2007, September). Minimality attack in privacy preserving data publishing. In *33rd International Conference on Very Large Data Bases* 543-554.
- Xu, Y., Wang, K., Fu, A. W. C., & Wong, R. C. W. (2010, April). Publishing skewed sensitive microdata. In *2010 SIAM International Conference on Data Mining*, 84-93.