

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

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

Yıl:20
Year:20

Sayı:40
Vol:40

2021-Güz
2021-Fall

Istanbul Commerce University
Journal of Science

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



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

DERGİSİ

Yıl: 20

Sayı: 40

Güz 2021

Year: 20

Volume: 40

Fall 2021

Istanbul Commerce University
Journal of Science










İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

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



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>
Yayın Kurulu <i>Editorial Board</i>	Prof. Dr. Abdül Halim ZAİM <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Prof. Dr. Muammer KALYON <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Editör <i>Editor</i>	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Yardımcı Editör <i>Assistant Editor</i>	Arş. Gör. Kader ŞİMŞİR ACAR <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Temel Bilimler Alan Editörü <i>Associate (Science) Editor</i>	Prof. Dr. Doğan KAYA <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Mühendislik Alan Editörü <i>Associate (Engineering) Editor</i>	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Dil Editörü <i>Language Editor</i>	Arş. Gör. Dr. 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/ticaretfbd
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	      

Danışma Kurulu Advisory Board	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	Karabük Üniversitesi, Karabük, 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. 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
	Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKÇI	İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Asif YOKUŞ	Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
	Doç. Dr. Faik GÜRSOY	Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
Doç. Dr. Fuat USTA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. İbrahim DEMİR	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Kadri DOĞAN	Artvin Çoruh Üniversitesi	
Doç. Dr. Merve İLKHAN	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. Murat KİRİŞÇİ	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Yunus ATALAN	Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye	
Doç. Dr. Yusuf ZEREN	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZTÜRK	İstanbul Medeniyet 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	

40. Sayı HAKEM LİSTESİ / REVIEWER LIST

Prof. Dr. Hamit Haluk SELİM	Gelişim Üniversitesi
Prof. Dr. Gül Tekin TEMUR	Bahçeşehir Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa KUMRAL	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Sedat KURUGÖL	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Osman KUŞAKCI	İbn Haldun Üniversitesi
Doç. Dr. Berk AYVAZ	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Doç. Dr. Emine Saka AKIN	Yozgat Bozok Üniversitesi
Doç. Dr. Emrah ALTUN	Bartın Üniversitesi
Doç. Dr. Hacı İLHAN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. M. Tahir GÜNEŞER	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Nezir AYDIN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Seda BAĞDATLI KALKAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi
Doç. Dr. Serpil KILIÇ DEPREN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah DEMİR	Marmara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ATALAY	Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZTÜRK	İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Göker AKSOY	Işık Üniversitesi

EDİTÖRDEN

Değerli İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okurları,

Dergimizin 20. yılına girmişken, 2021 Güz döneminde yayınlanan 40. sayıyı değerli okurlara ulaştırmaktan onur duymaktayız.

Dergimizin bu sayısında Endüstri Mühendisliği, Mimarlık, İstatistik, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Mücevherat Mühendisliği, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği alanlarından dokuz 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.

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

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Fen Bilimleri Dergisi Editörü

EDITORIAL POST

Dear Istanbul Commerce University Journal of Science Readers,

In the 20th year of our journal, we are honored to share with you our esteemed readers the 40th issue of the Fall 2021 edition.

In this issue, we are pleased to present nine articles from the fields of Industrial Engineering, Architecture, Statistics, Urban Systems and Transport Management, Jewellery Engineering, Electronics and Communication Engineering to the readers.

We present our thanks to our writers who share their work with our readers through our university and our colleagues who have contributed to the preparation of the journal and the valuable academicians who contributed to their studies.

We hope that the issue will give you different and actual insights into the subjects of science. Hope to meet to the reader with the next issue on Fall.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
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 % 25 çalışmalar alınır. Bu durumda değilse yazar/lar'dan çalışmanın tekrar revize edilerek yüklenmesi istenir. Benzerlik oranı % 25'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 $\leq 25\%$ 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 25%, the application is rejected.

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

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

The article review process is almost 3 months.

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

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



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering

- ÇELİK YAPIDA KULLANILAN ENDÜSTRİYEL BOYA İÇİN AHP VE TOPSİS YÖNTEMLERİ UYGULANARAK YAPILAN TEDARİKÇİ SEÇİMİ** 162
MAKING SUPPLIER SELECTION BY USING AHP AND TOPSIS METHODS FOR INDUSTRIAL PAINT WHICH USED IN STEEL STRUCTURE
Kaan GÜNDOĞAN, Oğuz BORAT

- BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PERSONELİ PERFORMANS DEĞERLENDİRME KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI** 178
DECISION SUPPORT SYSTEM DESIGN FOR PERFORMANCE MEASUREMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES PERSONNEL
Neslihan KURT, Berk AYVAZ

- ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE BİR UYGULAMA: DİZEL JENERATÖR SEÇİMİ** 195
AN APPLICATION WITH THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS: SELECTION OF DIESEL GENERATORS
Vedat ÖZKÖK, Sibkat KAÇTIOĞLU

- ISPARTA İLİNDE BULUNAN BİR KAMU KURULUŞUNA AHP VE TOPSİS YÖNTEMLERİNİ KULLANARAK MASAÜSTÜ BİLGİSAYAR SEÇİMİ** 212
DESKTOP COMPUTER SELECTION FOR A PUBLIC ORGANIZATION IN ISPARTA BY USING AHP AND TOPSIS METHODS
Yılmaz DOĞAN, Oğuz BORAT

Mimarlık / Architecture

- İSTANBUL YEDİKULE CER ATÖLYESİ'NİN T5 BİNASI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ** 228
EVALUATION OF ISTANBUL YEDİKULE CER WORKSHOP ON T5 BUILDING
Beyza ÖZDEMİR, Fernaz ÖNCEL

İstatistik / Statistics

- COMPARISON OF SOME COUNT MODELS IN CASE OF EXCESSIVE ZEROS: AN APPLICATION** 247
AŞIRI SIFIR DURUMUNDA BAZI SAYIM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: BİR UYGULAMA
Öznur İŞÇİ GÜNERİ, Burcu DURMUŞ, Aynur İNCEKIRIK

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi / Urban Systems and Transport Management

**KABATAŞ-BAĞCILAR TRAMVAY HATTI ARAÇ GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ
VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

269

*KABATAS-BAGCILAR TRAM LINE VEHICLE NOISE MEASUREMENT
AND EVALUATION*

Fırat TOPARLI, Yalçın EYİĞÜN

Mücevherat Mühendisliği / Jewellery Engineering

SMOKY (DUMANLI) KUVARS MİNERALİNİN GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİ

285

GEMOLOGICAL PROPERTIES OF SMOKY QUARTZ MINERALS

Yasemin KANTARÇEKEN, Zeki ÇİZMECİOĞLU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği / Electronics and Communication Engineering

NB-IOT VE LORA HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN

297

KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF NB-IOT

AND LORA COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Sümeyye YASİNTİMUR, Vedat TAVAS



Araştırma Makalesi / Research Article

**ÇELİK YAPIDA KULLANILAN ENDÜSTRİYEL BOYA İÇİN AHP VE
TOPSİS YÖNTEMLERİ UYGULANARAK YAPILAN TEDARİKÇİ
SEÇİMİ***

**MAKING SUPPLIER SELECTION BY USING AHP AND TOPSIS METHODS FOR
INDUSTRIAL PAINT WHICH USED IN STEEL STRUCTURE**

Kaan GÜNDOĞAN¹

Oğuz BORAT²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
kaangundogan@hotmail.com.tr

Geliş Tarihi / Received
01.12.2020

Kabul Tarihi / Accepted
04.01.2021

Öz

Bu çalışmanın amacı çelik yapı ve bu yapıda uygulanan boyanın özelliklerinin araştırılarak en uygun kısıtlara karar vermek ve bu kısıtlara bakılarak en iyi performansı gerçekleştirecek tedarikçiyi bulmaktır. Bu amaçla, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri seçilmiştir. İlk aşamada boyanın özelliklerinden faydalanılarak 6 adet ölçüt (dayanıklılık, kapama oranı, garanti süresi, kalite, maliyet analizi, kuruma süresi) belirlenmiştir. Bu ölçütlerin önem sıralamasını belirlemek amacıyla uzman 40 kişilik ekibe anket yapılmıştır. Sonuçlardan çıkan verilere istinaden önem sırası belirlenmiş daha sonra AHP yöntemi kullanılarak ağırlıkları bulunmuştur. Son aşamada ise en iyi tedarikçiyi bulma adına TOPSIS yöntemi kullanılarak firmaların tekliflerinde yer alan rakamlarla çarpımı sonucunda tedarikçi firmaların performans karşılaştırması yapılmıştır. Bunun neticesinde maliyet analizinin diğer kısıtlara göre performans değerlendirmesinde ön plana çıktığı görülmüştür. Diğer ikinci önemli ölçüt olan kalitenin de uzmanlar tarafından ankette değeri diğer ölçütlere göre daha belirleyici durumdadır. Bu doğrultuda yapılan analizler sonucunda en iyi performansı gösteren firmaya ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anket, boya sektörü, çelik yapı, ÇKKV, TOPSIS.

Abstract

The purpose of this study is to investigate properties of steel structure and paint which applied in this structure then decided on the most appropriate criteria for finding supplier that will perform the best performance. For this purpose, AHP and TOPSIS methods were chosen for solving that problem for the best supplier. In the first step, 6 criteria (durability, coverage rate, warranty period, quality, cost analysis, drying time) were determined by using properties of painting. In order to determine importance order of these criteria, a questionnaire asked to be answered a team of 40 people who experts in the industrial painting. Then AHP method was used to solve these questionnaires. At the last step, TOPSIS method was used for the performance evaluations. As a result of these, it has been observed that cost analysis comes to first criteria in performance evaluation according to other criteria. The second important criterion is the value of quality from the survey which answered by experts according to the other criteria. As a result of these evaluations, the best performing company was determined.

Keywords: AHP, MCDM, paint industry, steel structure, survey, TOPSIS.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
kaangundogan@hotmail.com.tr, [Orcid.org/0000-0002-8113-2317](https://orcid.org/0000-0002-8113-2317).

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
oborat@ticaret.edu.tr, [Orcid.org/0000-0002-2242-6024](https://orcid.org/0000-0002-2242-6024).

1. GİRİŞ

Çelik konstrüksiyon sektörü ve boya sektörü son yıllarda çok talep gören sektörler arasına girmiştir. Bu iki sektör de ülkenin ekonomi, istihdam ve sanayi alanlarında önemli etkiye sahip olmuşlardır. Dolayısıyla hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde bu sektörler sürekli izlenenler sektörler arasına girmişlerdir.

Bu çalışmadaki amaç, çelik yapıda endüstriyel boya kullanan bir firmanın bunu temin edeceği en uygun tedarikçiyi bulmaktır. Bu doğrultuda önce en uygun tabirini tanımlayacak ölçütleri (kriterleri) belirlemek ve daha sonra da bu ölçütlere göre mevcut seçenekleri değerlendirmek gerekmektedir. Araştırmada ilk aşama olarak, boya firmalarından projenin çelik metrajları çıkarılarak teklifler alınmıştır. Firmaların boya seçimindeki karar yaklaşımları araştırılmış ve çeşitli ölçütlere dayandığı görülmüştür. Bu ölçütlere bir öncelik sırası verilmeden soru haline getirilip anket olarak hazırlanmıştır. İstanbul bölgesinde bulunan bu alanda uzman 40 kişi belirlenmiş ve anket bu 40 kişi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Anket sonuçlarına istinaden önem sıralaması belirlenmiş ardından çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinde TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile tedarikçilerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada, AHP yöntemi, önem sıralaması ve kriter ağırlıkları için ve TOPSİS yöntemi ise kriterlerin tedarik seçiminde en iyi performansını değerlendirmek için baz alınarak literatür araştırması yapılmıştır. Ardından tedarikçi seçiminde kullanılan boya ve çelik konuları anlatılmış ve uygulama bölümüne geçilmiştir. Uygulama çözümünden sonra hangi tedarikçinin seçilmesi gerektiği sonuç bölümünde açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bozdoğan ve ark. (2016), tarafından yapılan çalışmada öncelikle konuya ilişkin literatür araştırması yapılmıştır ve performans kriterleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak altı yıllık mali verilerine ulaşılan beş büyükşehir belediyesinin karşılaştırmalı başarı sıralaması yapılarak performansları değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Durmuş ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, güvenilirlik/gizlilik, ödeme kolaylığı, ürün bilgisi ve çeşitliliği ile web sitesi performansı olmak üzere dört kriter kullanılmıştır. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kriter ağırlıkları belirlenirken İkili Karşılaştırma yöntemi dışında Max100 ve SWARA yöntemlerinin de kullanılması çalışmayı daha önce yapılanlardan ayıran önemli bir özellik olmuştur.

Öztürk (2019) yaptığı çalışmada, Ordu ili Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren bir hazır giyim işletmesi için en uygun kumaş hammadde tedarikçisinin seçilmesini ele almıştır. Bu çalışma ile, hazır giyim sektöründe faaliyette bulunan firmanın potansiyel tedarikçileri, ÇKKV modellerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmiştir. İşletmenin uzman görüşlerine dayanılarak tedarikçi seçiminde kullanılan kalite, fiyat, teslimat ve hizmet olarak 4 ana kriter belirlenmiş ve bunların 12 alt kriteri tanımlanmıştır. Belirlenen ana ve alt kriterlere göre işletmeye kumaş hammadde tedarikinde bulunan dört firma değerlendirilmiş ve öncelik sıralamaları belirlenmiştir.

Ballı ve ark. (2009), tarafından yapılan çalışmada, bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleri, en iyi işletim sisteminin seçimi için entegre edilmiştir. Bulanık AHP işletim sistemlerinin kriter ve öncelik değerlerinin ağırlıklarının belirlenmesi için alt kriterler kullanılmaktadır. Daha sonra

operasyonun sıralamasını belirlemek için TOPSIS yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık AHP karmaşık çoklu kriterleri değerlendirmek için yararlı bir yaklaşımdır öznel ve belirsiz yargı içeren alternatiflerdendir.

Şahin ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, devletin üstlendiği görevler nedeniyle kamu kurumlarının yaptığı harcamaları, özel olarak da bu harcamaların en önemli kalemlerinden birisi olan araç alımlarını incelemeyi seçmiştir. Bu araç alımlarında ise arama ve kurtarma faaliyetlerinde kullanılmak üzere alınacak olan 4x4 bir pikap araç için seçim ölçütleri uzman kişilerin görüşleri alınarak belirlenmiş, belirlenen ölçütler AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Araçların teknik özellikleri belirlenen bu ağırlıklara göre değerlendirilerek mantıklı bir seçenek ortaya konmaya çalışılmıştır.

Supçiller ve Çapraz (2011) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de faaliyet gösteren bir oluklu mukavva kutu üreticisi için tedarikçi seçimi problemi ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda işletme için en uygun tedarikçinin seçilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla tedarikçi seçimi probleminin çözülmesi için AHP ve TOPSIS çok kriterli karar verme yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Seçim kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi, tedarikçilerin sıralanması için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi sırasında Super Decisions 2.0.8. programı kullanılmıştır. Bu program yardımı ile kriter ağırlıkları ve tutarsızlıkları elde edilebilmektedir. TOPSIS yönteminin adımları için mevcut program bulunmaması nedeniyle Microsoft Excel 2007 hesaplamalarından yararlanılmıştır.

Akçin (2019) tarafından yapılan çalışmada, evlat edinmek amacıyla Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Çocuk Hizmetleri Genel Müdürlüğüne başvuruda bulunan ailelerden/bireylerden evlat edinmeye uygun bulunanlar arasından AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun aile/birey seçimi yapılması amaçlanmıştır. Uygulama için Bursa Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğü seçilmiştir. Bursa Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler İl Müdürlüğünde görev yapan, evlat edinme sürecinde yetkili bir sosyal çalışmacı ile yapılan görüşmelerde ailelerin/bireylerin başvurularının sıralanması için dikkat edilecek ölçütler belirlenmiştir. Ölçütlerin birbirlerine göre önem dereceleri belirlenerek oluşturulan bilgi sisteminin AHP modülü kullanılarak ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklar kullanılarak bilgi sisteminin TOPSIS modülü ile başvuruda bulunan aileler/bireyler sıralanmıştır. Bilgi sisteminden elde edilen çıktılara göre “Evlat Edinme Ebeveyn Aday Sıralama Listesi” oluşturulmuştur.

Bu çalışmaların incelenmesi sonucunda AHP ve TOPSIS yöntemleri ile tedarikçi seçiminde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği ortaya çıkmış ve bu iki yöntemin bu çalışmada uygulanması yönünde ortak bir görüşe varılmıştır.

3. ÇELİK YAPI VE BOYA

3.1. Çelik Yapı

Karbon oranı %2’den az olan, mekanik direncinin yüksekliğiyle nitelenen, mekanik olarak işlenebilen (dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil verilebilen) demir ve karbon alaşımlarına “çelik” adı verilmektedir. Çelik, su verilerek veya başka maddelerle birleştirilerek çok sert bir hale sokulabilmektedir. Çelik hammaddelerin ortak özelliği, içlerinde belli ölçüde karbon ve manganez bulunmasından kaynaklıdır (Hasol, 1993).

Bina analizi ve tasarım yapısı incelendiğinde, özellikle çelik yapı, depreme dayanıklı bina tasarımı ve betonarme binalarda çelik takviyesi kullanımı konusunun son on yılda yapılan üniversitelerdeki çalışmalarda artış olduğu görülmektedir. Çalışmaların, bazı eleman ve birleşim testleri gibi

laboratuvar çalışmalarının yanında esas olarak modelleme ve analiz üzerine yoğunlaştığı görülmektedir, (Altay & Güneyisi, 2005).

3.1.1. Çelik yapının avantajları

Yapı çeliğinin mukavemetinin yüksek olduğu bilinmektedir. Böylece sistemin taşıması gereken toplam yük içinde taşıyıcı sistemin, yani çeliğin kendi ağırlığının payı daha az olmaktadır. Bu nedenle büyük açıklıkların geçilmesinde en elverişli malzeme olarak bilinmektedir. Her ne kadar başka hafif metaller ve kompozitler yüksek mukavemetleri dolayısıyla kullanılabilirler de bunlar pahalı olmaları nedeniyle, özel uygulamalar dışında, yaygın olarak kullanılmamaktadır. Açıklık arttıkça malzeme ve sistem kesitleri değişmektedir. Geniş açıklıklar da kullanılan malzeme kesiti kalınlığı aynı oranda arttığı düşünüldüğünde kendi ağırlığı dışında gelen yükleri de taşıması sağlanmaktadır.

Ülkemizde son derece yaygın olarak kullanılan betonarme yapı, çelik sistemi ile karşılaştırıldığında, çelik yapıların bu açıdan avantajı daha kolay fark edilebilmektedir. Çünkü ülkemizde inşa edilen betonarme yapıların çoğu çelik sistem ile oluşturulabilecek nitelikte iken, çelik sistem ile oluşturulan binaların büyük bir kısmı betonarme ile elde edilemeyecek yapılar olmaktadır (Ünver, 2003).

3.1.2. Çelik yapının dezavantajları

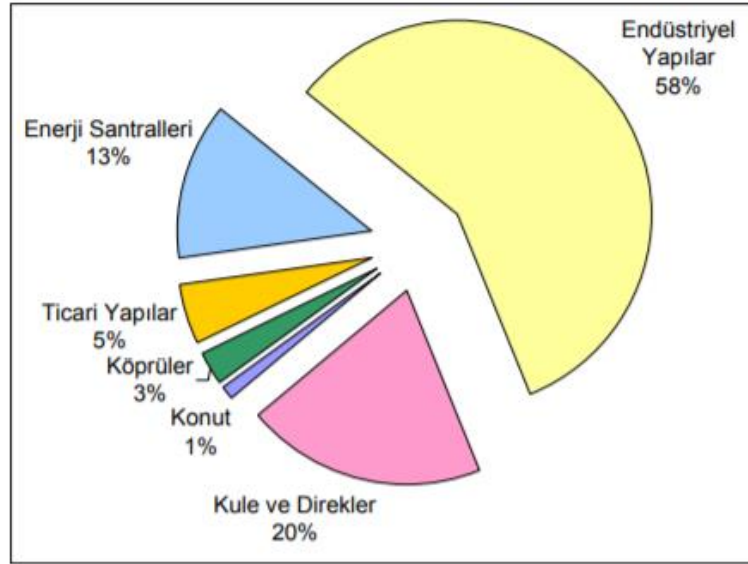
Çelik malzemesi, ısı ve ses açısından çok iyi bir iletkenidir. Bu nedenle yapıya uygulanacak yalıtım zayıf kalmaktadır. Çok iyi bir yalıtım durumunda ise izolasyon maliyetleri çok yükselmektedir. Yanıcı özelliği yoktur, fakat sıcaklığın yükselmesi durumunda mukavemeti ve elastik modülü zayıflamaktadır.

İyi bir ısı iletkeni olduğu düşünülürse, bir çelik elemana gelen ısı nedeniyle bu bölgede sıcaklık artmaktadır; ancak mukavemeti zayıflayan bu bölgeden ısı hızla iletileceğı için de sıcaklık düşmektedir. Tabii bölgeyi ısıtan ısı kaynağı kesilmezse bütün çelik bloğa iletilen ısı ile sıcaklık artışı olacak ve sonuçta çelik bloğun tümünde mukavemetin düşüşü kaçınılmaz olacaktır. Büyük yangınlar buna örnek gösterilebilmektedir.

Çelik malzemenin su veya kimyasal madde ile teması durumunda elemanlarda korozyon (kesit kaybı, paslanma) olmaktadır. Bu nedenle çelik elemanların antipas ve boya ile dış etkenlerden korunması gerekmektedir. Ülkemizde genelde çok katlı yapılar yapıldığı için ve çelik yapının betonarme yapıya göre inşa süresi olarak çok daha kısa olmasına rağmen maliyetinin yüksek olması nedeniyle çelik malzeme ile yapılan yapılar genelde tek katlı fabrika binaları ve endüstriyel tesislerde tercih edilmektedir. (Iğın, 2016).

3.1.3. Türkiye’de çelik yapı kullanımı

Türkiye’de üretilen çelik yapıların yaklaşık %60’ı endüstriyel yapılardır. Buna kuleler ve enerji alt yapı yatırımları da dahil edilirse bu oran %90’lara ulaşmaktadır. Şekil 1 de görüldüğü gibi ticari yapılar ve köprüler ise kalan %10’luk payı oluşturmaktadır (Tuca, 2005).



Şekil 1. Türkiye’de Çelik Yapıların Dağılımı

Ekonomik büyüme hızının %6-8 oranında olduğu varsayılırsa, yapısal çelik sektöründeki büyüme hızının, ekonomik büyüme hızından 1-2 puan fazla olacağı öngörülmektedir. Türkiye’deki çelik firmalarının yaklaşık 7-10 milyon m² inşaat alanı üretebilecek işleme kapasitesi bulunmaktadır. Bu kapasitenin önemli bir kısmı yurt dışında yüklenim işleri yapabilecek düzeydedir ve önemli yurt dışı projelerinde de ülkemizde faaliyet gösteren çelik yapı firmalarımız görülebilmektedir (Tuca, 2005).

3.2. Boya

Boya, malzeme yüzeyini aydınlatmak amacıyla dış faktörlerden korumak, süslemek için ince ve sert bir tabaka şeklinde olan organik ya da organik olmayan maddedir. Ayrıca boya, plastik esaslı pigmentlerden ve incelticilerden oluşmuş renkli sıvı bileşimidir. Boya, eskiden farklı sanat eserlerinde değişik dekoratif amaçlarla kullanılırken, günümüzde boya yapı malzemelerini dış etkenlerden kimyasal özelliklere karşı korumaktadır. Boya, yüzeysel ışığı ve hijyeni düzenleyerek mimaride aydınlatıcı bir malzeme niteliğinde kullanılmaktadır (Er, 2017).

Boya üretimi, üretiminde kullanılan hammaddelerin uygun bir öğütücü içerisinde homojen bir şekilde karıştırılmasını içermektedir. Günümüzde bunun için dikey veya yatay boncuk değirmenleri ve yüksek hızlı karıştırıcı kazanlar kullanılmaktadır. Su bazlı boyalar için karıştırıcı kazanlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Boya üretimi için, karıştırıcı kazan içerisine her bir hammadde belirli bir sıra ile kademeli olarak katılır. Birinci aşamada su ve ıslatıcı, köpük kesici gibi bazı yüzey aktif maddeler katılmaktadır (Paksoy, 1999)

3.2.1. Boya uygulaması

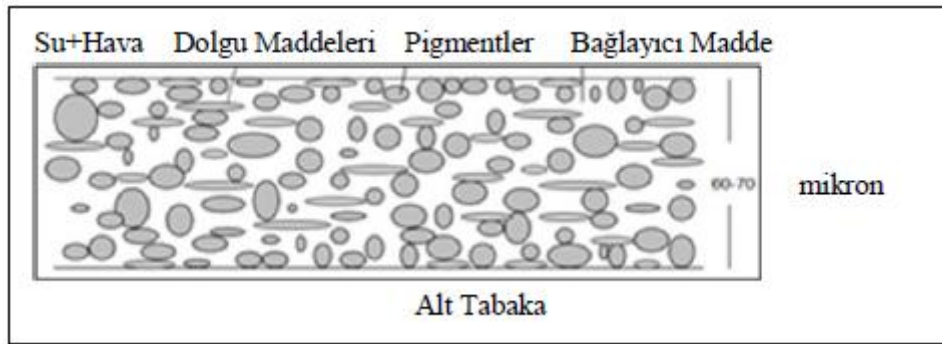
Yapılacak olan boya uygulamasında, hem işin mevcut kalitesine etkileyecek çeşitli parametrelerin, hem de sağlık, güvenlik ve çevre risklerinin denetlenmesi gerekli ise bu boya uygulaması literatürde sanayi boyası olarak geçmektedir. Sanayi boya uygulamalarında boya yapılacak olan ürün, boyanın yapılacağı yere gitmektedir. Bununla beraber boya yapımında herhangi bir denetim şartı aranmıyorsa ve boya yüzeyin bulunduğu yerde yapılıyorsa bu inşaat boyası olarak ele alınmaktadır. İnşaat boyları tek bir bölüm dâhilinde ele alınırken, sanayi boyları çeşitli alt sektörlere ayrılmaktadır (Uysal, 2010).

3.2.2. Epoksi shopprimerleri

Geleneksel solvent bazlı shop astarları 1970'lerden beri vardır. Çinko bakımından zengin shopprimerlerin demir esaslı substratlar üzerine uygulanması, çok etkili bir anti korozyon koruması yöntemidir. Uzun ömürlü bir kaplama sistemi elde etmek için bir ilk kat olarak epoksi esaslı shopprimer ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda epoksi esaslı shopprimer üç kat koruma sağlamaktadır (Jotun, 2018).

3.2.3 Endüstriyel boyalar

Astarlar ve son kat boyalar farklı özellikleri vurgulamaktadır. Yapışma ve korozyona karşı koruma astarlar için temel özelliklerken; dış cephedeki dayanıklılık, kir tutmama, kimyasal direnç ve parlaklık gibi özellikleri son kat boyalar içinde astarlara önemli bir öncelik sağlar. Su bazlı astarlar gibi su bazlı akrilik son kat boyaların metaller üzerindeki kullanımı son derece artmıştır (MakinaTek, 2018).



Şekil 2. Altteki Metalin Koroziyon Ortamı İle Temas Etmesini, Bariyer Etkisi İle Korozyon Koruması İçin Oksijeni Ve Suyun Çelikte Aşığıya Geçmesini Engellenmesi

4. METODOLOJİ

4.1. AHP (Analytic Hierarchy Process)

ÇKKV yöntemleri, birden fazla kritere dayalı karar verme problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılanı AHP olup, diğerleri TOPSIS, MOORA, ELECTRE, VIKOR, ANP, PROMETHEE vb. olarak sıralanabilmektedir (Eleren, 2007).

1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP, birden çok kriter (ölçüt) içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHP, karar vericilerin karmaşık problemleri; problemin ana hedefi, kriterleri (criteria / attributes / objectives), alt kriterleri ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak vermektedir. AHP' nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. Başka bir ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemden oluşmaktadır. AHP çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır (Kuruüzüm ve ark., 2001)

ÇKKV problemlerinin; ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi gösteren AHP, hiyerarşik bir yapıda modellenbilmesine olanak veren bir sistemden oluşmaktadır. Bu yöntemle, birçok değerlendirme kriterin rol oynadığı karar problemlerinde, kriterlerin amaca

katkısının belirlenebilmesi için kriter ağırlıkları hesaplanabilmekte ve uygun karar alternatifi seçilebilmektedir (Görener ve ark., 2011).

4.2. TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) Yoon ve Hwang tarafından 1980 yılında ELECTRE metoduna bir alternatif olarak geliştirilmiştir ve kabul edilmiş varyasyonlar içinde en yaygınlarından biri olarak düşünülebilmektedir. Metodun temel amacı; seçilmiş alternatif bir ideal çözüme en kısa mesafede ve ideal olmayan çözüme en uzak mesafede olmaktadır. TOPSİS metodu her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır. Bundan dolayı, ideal ve ideal olmayan çözümleri tanımlamak kolay olmaktadır. Öklid mesafesi yaklaşımı alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece bu göreli mesafelerin karşılaştırılmalarının bir serisi aracılığıyla alternatiflerin tercih sırası çıkarılabilmektedir (Kaya ve ark., 2004).

5. UYGULAMA

Günümüz şartlarında boya sektöründeki gün geçtikçe artan talep dikkat çekicidir. Her ne kadar şu an korona virüs vakasından dolayı talepler düşmüş olsa da ilerleyen zamanlarda tekrar eski haline kavuşacağı tahmin edilmektedir. Boya sektöründe müşterinin talebine verilen cevabın hızı ve sunulan kalite çok önemli bir yere sahip olmaktadır. Yenilenen ve çeşitlenen hizmetler gelen talepleri arttırdığı gibi tedarikçilerin de daha çok imkana sahip olması için zorlamaktadır. Bu bakımdan en iyi imkanları sunan tedarikçi diğer tedarikçilere göre bir adım öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, bir çelik konstrüksiyon şirketinde, platform yapımında kullanılacak 3 kat boyanın tedarigi için değerlendirilmeler yapılmıştır. Belirlenen kriterlerde önem sırasını belirlemek için AHP yönteminden faydalanılmıştır. Tedarikçi seçiminde belirlenen kriterlerin önem sıralaması için önce anket çalışması yapılmıştır. Kriterlerin önem sırası belirlendikten sonra TOPSİS yöntemi kullanılarak performans ölçümü yapılmıştır.

Bu yapıda sanayi boyasının rapid endüstriyel olarak geçen önceki sayfalarda bahsedilen özellikli olanı kullanılacaktır. Çelik konstrüksiyon platform yapımında 3 kat boya kullanılacaktır. Bunlardan birincisi shop primer, çelik konstrüksiyon malzemeye S.A 2,5 kalitesinde kumlama işleminden sonra atılır. Kumlama, malzemenin üzerinde bulunan yağdan ve mevcut pasının temizlenmesi için yapılan bir işlemdir ardından atılan shop primer boya malzemenin paslanmasını önlemek ve imalat işleminin kaynak bölümünde çapak oluşumunu minimum seviyeye çekmesini sağlayacaktır.

İkinci kat veya astar olarak nitelendirilen boya işlemi imalat bitiminde uygulanacaktır. Ardından son olarak üçüncü son kat boya atılacaktır. Bu boya işlemleri esnasında airless (hava püskürtmeli) boya makineleri kullanılacaktır. Bu hizmetler için tedarikçilerden detaylı fiyat teklifi istenmiş ve değerlendirilmiştir. Tedarikçi firmaların tamamı çok uluslu firmalardır. Bu firmalar J, M ve R olarak isimlendirilmiştir.

5.1. AHP Adımları

Boya tedarikçi seçimi için 6 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler maliyet analizi, kalite, garanti süresi, kuruma süresi, dayanıklılık ve kapama oranıdır. Bu kriterler belirlendikten sonra 6 sorudan oluşan anket düzenlenmiştir. Bu anket boya alanında uzman 40 kişilik ekip tarafından cevaplandırılmıştır. Bu cevaplandırılan soruların değerlendirmesinden sonra kriterlerin önem sıraları belirlenmiştir. Bu kriterlerin önem sırasının belirlenmesi neticesinde ağırlıklarının

hesaplanması için Excel programı yardımıyla sonuçlara ulaşılmıştır. Aşağıda detaylı açıklaması Tablo 1 ile birlikte yapılmıştır.

Tablo 1. Kriterlerin Önem Derecelerine İstinaden Sıralanması (AHP Adımları 1)

	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet
Kalite	1	5	4	3	2	0,5
Garanti Süresi	0,2	1	0,5	0,333	0,25	0,143
Kuruma Süresi	0,25	2	1	0,5	0,333	0,167
Kapama Oranı	0,333	3	2	1	0,5	0,2
Dayanıklılık	0,5	4	3	2	1	0,333
Maliyet	2	7	6	5	3	1
Toplam	4,283	22	16,5	11,833	7,083	2,343

Kriterlerin önem sıralamasının yapılan anket sonucunda belirlenmesinden sonra ikili karşılaştırma yolu benimsenerek değerler belirlenip Ms Excel formatında Tablo 1 oluşturulmuştur. Tablo 1’de görüldüğü üzere kriterlerin kendileriyle karşılaştırılması 1 olarak değerlendirilmiştir. İlk sütundan başlamak üzere geri kalan bölümde ise A kriterinin karşılaştırılacak olan diğer B kriterinden önemi fazla ise 1-9 değerlerine göre aldığı değeri A kriterinin karşısına yazılmıştır. Eğer önemi az ise A kriteri değeri 1’e bölünerek tabloya yazılmıştır. Bu yöntem kullanılarak Tablo 2 doldurulmuştur. Kriter A ve Kriter B örnek için belirtilmiştir. Böylelikle matris oluşturulmuştur

Tablo 2. Kriterlerin Birbiriyle Karşılaştırılması ve Ağırlıklarının Hesaplanması Ana Kriterlere Ait Normalize Edilmiş Matris (AHP Adımları 2)

	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet	Ağırlık (W)
Kalite	0,23	0,23	0,24	0,25	0,28	0,21	0,24
Garanti Süresi	0,05	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04
Kuruma Süresi	0,06	0,09	0,06	0,04	0,05	0,07	0,06
Kapama Oranı	0,08	0,14	0,12	0,08	0,07	0,09	0,10
Dayanıklılık	0,12	0,18	0,18	0,17	0,14	0,14	0,16
Maliyet	0,47	0,32	0,36	0,42	0,42	0,43	0,40
Toplam	1	1	1	1	1	1	

Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak Tablo 1’de görüldüğü üzere değerlerin sütun olarak toplamının alınması işlemi yapılmıştır. Daha sonra Tablo 1’deki her bir değeri toplam değere bölerek Tablo 2 oluşturulmuştur. Tablo 2’deki ağırlık sütunu

kriterlerin satırsal olarak ortalamasından oluşmuştur. Bu yöntemle kriterlerin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Böylelikle Tablo 1’de oluşturulan matris normalize edilmiştir.

Tablo 3: Tutarlılık Oranının Hesaplanması. Tutarlılık Göstergesinin Ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması (AHP Adımları 3)

	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet	Ağırlık Önem Vektörü (Ws)	Tutarlılık Vektörü
Kalite	1	5	4	3	2	0,5	1,500	6,250
Garanti Süresi	0,2	1	0,5	0,333	0,25	0,143	0,248	6,212
Kuruma Süresi	0,25	2	1	0,5	0,333	0,167	0,370	6,167
Kapama Oranı	0,333	3	2	1	0,5	0,2	0,580	5,800
Dayanıklılık	0,5	4	3	2	1	0,333	0,953	5,958
Maliyet	2	7	6	5	3	1	2,500	6,250
							λ_{max}	6,106

Tutarlılık Oranı yapılan anketin ne kadar doğru olduğunun tespiti için hesaplanan değerdir. Aşağıda AHP anlatımında gösterilen formüllere istinaden hesaplanmıştır.

Tutarlılık Göstergesi (CI) = $(\lambda_{max} - n)/n-1$, Tutarlılık Oranı (CR) = Tutarlılık Göstergesi (CI) / Rassallık Göstergesi (RI); $n=6$ Rassallık Göstergesi (RI) = 1,24; Tutarlılık Göstergesi (CI) = $(6,106 - 6) / (6 - 1)$; Tutarlılık Göstergesi (CI) = 0,0212302; Tutarlılık Oranı (CR) = 0,0212302 / 1,24; Tutarlılık Oranı (CR) = 0,0171211.

Eğer (CR) < 0,1 Sıralama doğru olur: 0,0171211 < 0,1 Sıralama doğru

Tablo 4. Kriterlerin Hesaplanan Ağırlıkları ve Önem Sıralaması (Ağırlıklar değerleri Tablo 3’teki Ağırlık (W) değerinden alınmıştır). Kriterlerin Ağırlıkları ve Önem Sıralaması (AHP Adımları 4)

	Ağırlıklar	Önem Sırası
Kalite	0,24	2
Garanti Süresi	0,04	6
Kuruma Süresi	0,06	5
Kapama Oranı	0,10	4
Dayanıklılık	0,16	3
Maliyet	0,40	1

5.2. TOPSIS Adımları

1.Adım: Matrise ait Normalizasyon İşlemi

$$\bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

Tablo 5. J Firması Fiyat Teklifi

J	Katı Madde Oranı (%)	Kuru Film Kalınlığı (μ)	Teorik Yayılma (m^2/lt)	Pratik Yayılma (m^2/lt)	Yüzey Alanı (m^2)	Boya Sarfiyat Miktarı (lt)	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Maliyet (TL)	M ² Maliyet (TL/m ²)
Epoksi Shopprimer	25	20	12,50	8,75	1.200	137	18,09	2.479	2,077
Rapid Ara Kat	56	50	11,20	7,84	1.200	153	18,76	2.867,6	2,412
Rapid Son Kat	44	40	11,00	7,70	1.200	156	32,83	5.118,8	4,288
Tiner					1.200	22	26,13	589,6	0,402
TOPLAM								11.055	9,179

Tablo 6. M Firması Fiyat Teklifi

M	Katı Madde Oranı (%)	Kuru Film Kalınlığı (μ)	Teorik Yayılma (m^2/lt)	Pratik Yayılma (m^2/lt)	Yüzey Alanı (m^2)	Boya Sarfiyat Miktarı (lt)	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Maliyet (TL)	M ² Maliyet (TL/m ²)
Epoksi Shopprimer	28	20	14,00	9,80	1.200	122,45	17,52	2.145,47	1,825
Rapid Ara Kat	45	100	4,50	3,15	1.200	380,95	11,68	4.449,35	3,796
Rapid Son Kat	45	50	9,00	6,30	1.200	190,48	21,17	4.035,52	3,358
Tiner					1.200	69,34	18,25	1.266,55	0,949
TOPLAM								11.893,9	9,928

Tablo 7. R Firması Fiyat Teklifi

R	Katı Madde Oranı (%)	Kuru Film Kalınlığı (μ)	Teorik Yayılma (m^2/lt)	Pratik Yayılma (m^2/lt)	Yüzey Alanı (m^2)	Boya Sarfiyat Miktarı (lt)	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Maliyet (TL)	M ² Maliyeti (TL/m ²)
Epoksi Shopprimer	27	20	13,50	9,45	1.200	127	16,75	2.123,9	1,74
Rapid Ara Kat	60	80	7,50	5,25	1.200	229	13,40	3.061,9	2,55
Rapid Son Kat	60	60	10,00	7,00	1.200	171	20,77	3.557,7	2,95
Tiner					1.200	60	15,08	911,2	0,80
TOPLAM								9.66	8,04

Tablo 8. Tüm Firmaların Sunduğu Boyalara Ait Kalite Belgeleri ve Garanti Süreleri

Firma	Kalite (Belge Sayısı)	Garanti Süresi (Yıl)
J	10	10
M	8	10
R	6	10

Tablo 9: Karar matrisi

Ağırlıklar	0,24	0,04	0,06	0,10	0,16	0,40
Firma	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet
J	10	10	110	24,29	125	9,18
M	8	10	170	19,25	118	9,93
R	4	10	160	21,7	147	8,04

Tablo 9’da J, M ve R firmasına ait tekliflerin kriterlere göre değerlerinin hesaplanıp yazılması işlemi yapılmıştır. Bu yolla matris oluşturulmuştur.

Tablo 10. Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Firma	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet
J	0,745	0,577	0,426	0,642	0,553	0,583
M	0,596	0,577	0,659	0,509	0,522	0,631
R	0,298	0,577	0,620	0,574	0,650	0,511

Tablo 10’da 3 firmanın verdiği fiyat tekliflerine göre hesaplanan değerlerine istinaden normalizasyon işleminde kullanılan formül ile hesaplanmıştır. Böylelikle matrisin normalize edilmesi işlemi yapılmıştır.

$$\bar{X}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

Tablo 10 oluşturulması için yukarıdaki formülün uygulanması aşağıdadır;

Kalite Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{11} = J_{11}/((J_{11}^2)+(M_{21}^2)+(R_{31}^2))^{0.5} = 10/(10^2)+(8^2)+(4^2)^{0.5} = 0.745$$

$$\bar{X}_{21} = M_{21}/((J_{11}^2)+(M_{21}^2)+(R_{31}^2))^{0.5} = 8/(10^2)+(8^2)+(4^2)^{0.5} = 0.596$$

$$\bar{X}_{31} = R_{31}/((J_{11}^2)+(M_{21}^2)+(R_{31}^2))^{0.5} = 4/(10^2)+(8^2)+(4^2)^{0.5} = 0.298$$

Garanti Süresi Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{12} = J_{12}/((J_{12}^2)+(M_{22}^2)+(R_{32}^2))^{0.5} = 10/(10^2)+(10^2)+(10^2)^{0.5} = 0.577$$

$$\bar{X}_{22} = M_{22}/((J_{12}^2)+(M_{22}^2)+(R_{32}^2))^{0.5} = 10/(10^2)+(10^2)+(10^2)^{0.5} = 0.577$$

$$\bar{X}_{32} = R_{32}/((J_{12}^2)+(M_{22}^2)+(R_{32}^2))^{0.5} = 10/(10^2)+(10^2)+(10^2)^{0.5} = 0.577$$

Kuruma Süresi Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{13} = J_{13}/((J_{13}^2)+(M_{23}^2)+(R_{33}^2))^{0.5} = 110/(110^2)+(170^2)+(160^2)^{0.5} = 0.426$$

$$\bar{X}_{23} = M_{23}/((J_{13}^2)+(M_{23}^2)+(R_{33}^2))^{0.5} = 170/(110^2)+(170^2)+(160^2)^{0.5} = 0.659$$

$$\bar{X}_{33} = R_{33}/((J_{13}^2)+(M_{23}^2)+(R_{33}^2))^{0.5} = 160/(110^2)+(170^2)+(160^2)^{0.5} = 0.620$$

Kapama Oranı Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{14} = J_{14}/((J_{14}^2)+(M_{24}^2)+(R_{34}^2))^{0.5} = 24.29/(24.29^2)+(19.25^2)+(21.7^2)^{0.5} = 0.642$$

$$\bar{X}_{24} = M_{24}/((J_{14}^2)+(M_{24}^2)+(R_{34}^2))^{0.5} = 19.25/(24.29^2)+(19.25^2)+(21.7^2)^{0.5} = 0.509$$

$$\bar{X}_{34} = R_{34}/((J_{14}^2)+(M_{24}^2)+(R_{34}^2))^{0.5} = 21.7/(24.29^2)+(19.25^2)+(21.7^2)^{0.5} = 0.574$$

Dayanıklılık Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{15} = J_{15}/((J_{15}^2)+(M_{25}^2)+(R_{35}^2))^{0.5} = 125/(125^2)+(118^2)+(147^2)^{0.5} = 0.553$$

$$\bar{X}_{25} = M_{25}/((J_{15}^2)+(M_{25}^2)+(R_{35}^2))^{0.5} = 118/(125^2)+(118^2)+(147^2)^{0.5} = 0.7522$$

$$\bar{X}_{35} = R_{35}/((J_{15}^2)+(M_{25}^2)+(R_{35}^2))^{0.5} = 147/(125^2)+(118^2)+(147^2)^{0.5} = 0.560$$

Maliyet Kriteri Sütunu için Hesaplama;

$$\bar{X}_{16} = J_{16}/((J_{16}^2)+(M_{26}^2)+(R_{36}^2))^{0.5} = 9.18/(9.18^2)+(9.93^2)+(8.04^2)^{0.5} = 0.583$$

$$\bar{X}_{26} = M_{26}/((J_{16}^2)+(M_{26}^2)+(R_{36}^2))^{0.5} = 9.93/(9.18^2)+(9.93^2)+(8.04^2)^{0.5} = 0.631$$

$$\bar{X}_{36} = R_{36}/((J_{16}^2)+(M_{26}^2)+(R_{36}^2))^{0.5} = 8.04/(9.18^2)+(9.93^2)+(8.04^2)^{0.5} = 0.511$$

2.Adım: Normalize edilmiş Matrisin Kriterlere verilen önem doğrultusunda ağırlıklandırılması

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} \times W_j$$

Tablo 11. Normalize Edilmiş Matrisin Ağırlıklandırılması

Firma	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet
J	0,179	0,023	0,026	0,064	0,088	0,233
M	0,143	0,023	0,040	0,051	0,083	0,252
R	0,072	0,023	0,037	0,057	0,104	0,204

Normalize edilmiş matrisin kriterlere verilen önem doğrultusunda ağırlıklandırılması formülünde görüldüğü üzere normalize edilmiş matrisin daha önce AHP yöntemiyle belirlenmiş ağırlıkları ile çarpımı sonucu oluşan tablodur. Bunun sonucunda Tablo 11 oluşmuştur.

3.Adım: Ağırlıklandırılmış matrisin maksimum ve minimum değerlerinin tespiti.

4.Adım: En iyi ideal uzaklığın tespiti için hesaplama

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+) \right]^{2,0,5}$$

5.Adım: En kötü ideal uzaklığın tespiti için hesaplama

$$S_i^- = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-) \right]^{2,0,5}$$

6.Adım: Performanslara göre sıralamanın belirlenmesi

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

Tablo 12. En İyi ve En Kötü İdeal Uzaklığın ve Performans Sıralamasının Tespiti

Firma	Kalite	Garanti Süresi	Kurum a Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet	Si+	Si-	Pi	Sıralama
J	0,179	0,023	0,026	0,064	0,088	0,233	0,036	0,110	0,755	1
M	0,143	0,023	0,040	0,051	0,083	0,252	0,065	0,073	0,530	2
R	0,072	0,023	0,037	0,057	0,104	0,204	0,108	0,054	0,334	3

Tablo 13. V+ ve V- Değerlerin Hesaplanmasını Gösteren Tablo

	Kalite	Garanti Süresi	Kuruma Süresi	Kapama Oranı	Dayanıklılık	Maliyet
V+	0,179	0,023	0,040	0,064	0,104	0,204
V-	0,072	0,023	0,026	0,051	0,083	0,252

Tablo 12’de görüldüğü gibi J firması en iyi performansı gösterdiği için boya tedariki konusunda en öncelikli seçilmiştir. İkinci öncelikli M firması ve R firması üçüncü öncelikli olarak seçilmiştir. Belirlenen 6 kriteri düşündüğümüz takdirde maliyet analizi diğer kriterlere nazaran daha ön plandadır. Genel olarak düşünüldüğünde de aslında boya veya herhangi bir ürün tedarikinde ilk önce fiyat performansına bakılmaktadır. Bu örnekte görüldüğü üzere en uygun fiyatı veren en iyi performansı sergilememiştir. Birim fiyatı olarak en pahalı olan J firması buna rağmen birinci öncelikli firma olarak seçilmiştir. Bu durum bize diğer 5 kriterin performans olarak önemini göstermektedir. R firması fiyat olarak en iyi performans gösteren firma olmasına rağmen ikinci en önemli kriter olan kalitedeki kötü performansından dolayı üçüncü sırada yer almaktadır.

6. SONUÇ

Çelik ve boya sektörü ülke ekonomisinde, istihdamda ve sanayide oldukça önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde çeliğin kullanılması henüz çok yaygınlaşmıştır, ancak şu andaki talep artışının yüksek olduğu görülmektedir. Boyanın bilinen özelliklerden çok daha fazla özelliği olduğu da yeni yeni anlaşılmaktadır. Dolayısıyla her iki sektörde önemli talep artışları ve gelişmeler beklenmektedir.

Boya sektöründe belirlenen ölçütler neticesinde mevcut seçenekler arasından en uygun tedarikçi seçimi yapılmıştır. Ölçütleri sağlayan tedarikçinin belirlenmesinde ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri tercih edilmiştir. AHP yönteminin tercih edilme nedeni uzman görüşlerinden yararlanılarak yapılan ankette belirlenen kriterlerin sıralamasında diğer yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar verdiği yapılan görüşmelerde belirlenmiştir. TOPSIS yönteminde ise performans ölçümü ve firmaların kıyaslanmasında en doğru sonuçları verdiği için tercih edilmiştir.

AHP ve TOPSİS yöntemlerinde kriterin ve alternatiflerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda uzmanlarla yapılan görüşmeler sonunda 6 adet kriter tespit edilmiştir. Bu kriterler kalite, maliyet analizi, dayanıklılık, garanti süresi, kuruma süresi ve kapama oranıdır. Belirlenen kriterlerin önem sırasını bulabilmek amacıyla 6 adet sorudan oluşan anket düzenlenmiştir. Bu 6 adet soru 6 adet kriteri kapsamaktadır. Tablolar şeklinde düzenlenen anket soruları boya alanında uzman 40 kişiye sorulmuştur. Sorulan soruların neticesinde oluşan grafiklere bakarak önem sıralaması oluşturulmuştur. Oluşan önem sıralamasından sonra AHP yöntemi kullanılarak daha önceden anket yoluyla önem sırası belirlenen kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıkların TOPSİS yönteminden faydalanarak performans ölçümü yapılmıştır. Performans ölçümü yapabilmek için ilk önce çizilen çelik konstrüksiyon platform projesinden çelik metrajları çıkarılmıştır. Çıkarılan çelik metrajlara istinaden, kriterlere uygun ve alanında başarılı toplam 3 adet tedarikçi firmadan belirlenen kriterlere göre teklifler alınmıştır. Bu toplanan teklifler, kriterlerin değerleri birlikte TOPSİS yöntemi kullanılmıştır; formüller Excel programında oluşturulan tablolarda kullanılarak sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlarda J firmasının en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. İkinci sırada M firması ve son olarak da R firması bulunmuştur. J firmasının değeri 0,755 M firması 0,530 R firması ise 0,334'tür. Bu değerlere bakıldığında birbirlerine yakın değerler olduğu görülmektedir. Önem sıralamasında üst sıralarda yer alan kriterlerin verilen tekliflerdeki değerleri arttıkça veya azaldıkça sıralamada değişikliğe yol açabilecektir.

Bu yapılan çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar herhangi bir ürünün tedarik seçiminde kriterlerin ve bunların değerlerine göre sıralamasının öneminin sonuca direk etki ettiği anlaşılmış olup sıralama değiştiği takdirde sonucun farklı olduğu görülmüştür. Bu yüzden önem sıralaması 1. derecede dikkat edilmesi gereken hususlardandır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışma sırasında kıymetli görüş ve desteklerinden faydalandıkları Sayın Müteahhit İbrahim Gündoğan'a ve Sayın Aygöl Yurtseven'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.

KAYNAKÇA

Akçin, E. (2019). *Evlat edindirmede aile seçim sürecinin AHP ve TOPSİS tabanlı bilgi sistemi ile değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya.

Altay, G. ve Güneyisi, E. M. (2005), Türkiye'de yapısal çelik sektörü ve yeni gelişimler, <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11059.pdf> adresinden 10 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.

Ballı, S. ve Korukođlu, S. (2009). Operating system selection using fuzzy AHP and TOPSİS methods. *Math. Comput.Appl.* 14(2), 119-130.

- Bozdoğan, T., Tayyar, N. ve Öner, Ş. (2016, Haziran). Yeni kamu mali yönetim anlayışı perspektifinde Türkiye’de kamu kurumları mali performanslarının AHP ve TOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmesi. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*. 18(2), 477-514.
- Durmuş, M. ve Tayyar, N. (2017, Aralık). AHP ve TOPSIS ile farklı kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılması ve karar verici görüşleriyle karşılaştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*. 12(3), 65 – 80.
- Eleren, A. (2007). Markaların tüketici tercih kriterlerine göre analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi: Beyaz eşya sektöründe bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 14, 2.
- Er, S. (2017). *Boya İmalat Sektöründe Kullanılan Kimyasalların İş Sağlığı Üzerine Etkileri* [Yüksek Lisans Tezi], Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Görener, A. ve Dinçer, A. (2011). Performans değerlendirmesinde AHP - Vıkor ve AHP - TOPSIS yaklaşımları: Hizmet sektöründe bir uygulama. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 29, 244-260.
- Hasol, D. (1993). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları*, İstanbul.
- Iğın, M. (2016). *Farklı çelik taşıyıcı sistem konfigürasyonlarının çelik yapı boyutlandırmasına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kocaeli.
- Jotun, (2018). Silicate or epoxy zinc primers – The superior protection.
[http://wwwda.jotun.com/www/com/20020115.nsf/viewunid/5591E5F45F237F3C12571DF002B0EC8/\\$file/Silicate+or+epoxy+zinc+primers.pdf](http://wwwda.jotun.com/www/com/20020115.nsf/viewunid/5591E5F45F237F3C12571DF002B0EC8/$file/Silicate+or+epoxy+zinc+primers.pdf) adresinden 10 Aralık 2018 tarihinde alınmıştır.
- Kaya, İ. ve Kahraman, C. (2004). Çok amaçlı karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin karşılaştırılması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü*. İstanbul.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). Analitik hiyerarşi yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*. 1, 83-105.
- MakinaTek (2018). Bileşim Yayıncılık, Fuarçılık ve Tanıtım Hizmetleri.
<http://makinatek.com.tr/uncategorized/metal-yuzeylerin-boyanmasy/> adresinden 10 Eylül 2020 tarihinde alınmıştır.
- Öztürk, D. ve Onurlubaş, E. (2019). Havayolu taşımacılığında hizmet kalitesinin AHP ve TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*. 10, 81-97.
- Paksoy, A. S. (1999). Boya el kitabı, *Kimya Mühendisleri Odası*, İstanbul.
- Supçiller, A. A. ve Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması ekonometri ve istatistik, *İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, 13(12). Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı) 1–22.

Şahin, Y. ve Akyer, H. (2011). Ülke Kaynaklarının verimli kullanımı: 4x4 arama ve kurtarma aracı seçiminde AHS ve TOPSİS yöntemlerinin uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 72-87.

Türk Yapısal Çelik Derneđi (TUCSA) (2005). Yapısal Çelik Kullanımı, Üretim Kapasiteleri, Çeliğin Avrupa ve Türkiye İnşaat Sektöründeki Yeri. *Türk Yapısal Çelik Derneđi*, İstanbul.

Uysal, M. M. (2010). *Yüksek Teknolojik Ürünlerin Pazara Sunulmasında Yenilikçi Yaklaşımlar: Boya Sanayi Uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.



Araştırma Makalesi / Research Article

**BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PERSONELİ PERFORMANS
DEĞERLENDİRME KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI***

**DECISION SUPPORT SYSTEM DESIGN FOR PERFORMANCE MEASUREMENT OF
INFORMATION TECHNOLOGIES PERSONNEL**

Neslihan KURT¹

Berk AYVAZ²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
neslihansilgu@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
09.01.2021

Kabul Tarihi / Accepted
21.02.2021

Öz

Günümüz rekabetçi, sürekli değişen ve gelişen dünya şartları, insan kaynaklarının önemini ön plana çıkarmıştır. Etkin insan kaynağına sahip olmak organizasyonların başarısında en önemli faktör haline gelmiştir. Bu sebeple personel performans yönetimi günümüz işletmelerinin odak noktası haline gelmiştir. İyi tasarlanan ve uygulanan bir performans yönetim sistemi, şirketin verimliliğini en üst düzeye taşımaktadır. Bu çalışmada, bilgi teknolojileri alanında çalışan iş analistlerinin performans ölçümü için hibrit bir yapı oluşturulacaktır. Geliştirilen performans değerlendirme sistemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için Bulanık Analitik Hiyerarşi (BAHS) tekniği ve ikinci aşamada çalışan performansını hesaplamak için Gri İlişkisel Analizi (GİA) yöntemi kullanılacaktır. Performans değerlendirme kriterleri, nitel ve nicel veriler içerdiği için bulanık mantık kullanılmıştır. Çalışmanın performans ölçüm kriterlerini belirleme aşamasında literatür taraması ve bu sektördeki uzmanlardan istifade edilmiştir. Önerilecek modelin uygulama ve doğrulaması, Türkiye’de faaliyet gösteren özel bir bankanın bilgi teknolojileri departmanında yapılmıştır. Modelin iş analisti performans değerlendirme aşamasında yöneticilerin iş süreçlerine kolaylık sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgi teknolojileri, çok kriterli karar verme, gri ilişkisel analiz, iş analisti, performans değerlendirme.

Abstract

Today's competitive, changing and developing world conditions highlight the importance of human resources. Having effective human resources has become the most important factor in the success of organizations. For this reason, personnel performance management has become the focus of today's businesses. A well designed and implemented performance management system is the main element that maximizes the company's efficiency. In this study, a hybrid structure is developed to measure the performance of business analysts. The Fuzzy Analytical Hierarchy is used to calculate the weights of the criteria, and the Gray Relational Analysis is used to calculate employee performance. Literature review and experts decisions were used to determine the performance measurement criteria. Implementation and validation of recommended model is made in the information technology department of a private bank operating in Turkey. This model is expected to facilitate the business processes of managers during the performance evaluation phase of the business analyst.

Keywords: Business analyst, gray relational analysis, information technologies, multi-criteria decision making, performance evaluation.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. neslihansilgu@gmail.com, [Orcid.org/0000-0002-3063-1423](https://orcid.org/0000-0002-3063-1423).

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. bayvaz@ticaret.edu.tr, [Orcid.org/0000-0002-8098-3611](https://orcid.org/0000-0002-8098-3611).

1. GİRİŞ

Günümüz iş dünyasında yaşanan yoğun rekabet, işletmeleri sahip oldukları kaynakları en etkin ve verimli şekilde kullanmak zorunda bırakmaktadır. Üretim ya da hizmet sektörüne odaklanıldığında aslında bir işletmenin üretim ya da hizmet sunumu açısından en önemli kaynağının insan kaynağı olduğu bilinen bir gerçektir. Ölçülemeyen bir faaliyet ya da kişinin yönetilemediği yönetim bilimciler tarafından sıklıkla vurgulanan bir kavramdır. Bu sebeple personel kaynağının verimliliğini ölçmek, insan kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir. Personel kaynağının verimliliğini arttırmanın en önemli unsurlarından biri kişinin kendini tanıması, gelişime açık yönlerini görebilmesidir.

Çalışan performansının değerlendirilmesi, üretilen işin kalitesinin arttırılması için önemli bir unsurdur ve çalışanların performans gösterme konusunda motivasyonunun arttırmasına katkı sağlar. Performans değerlendirme sistemi, personelin hedeflerini daha net görebilmesine yardımcı olur. Bu sistem ile geri bildirim sağlanarak personelin güçlü ve zayıf yönlerinin farkına vararak kendini geliştirmesi, hem kendi kişisel gelişimi hem de işletmenin verimliliğine katkı olarak ön plana çıkar. Buna ek olarak bir organizasyonun periyodik olarak çalışanların performans değerlendirmesi, personel ve kurum bağlılığını da arttıracaktır.

Performans değerlendirme, organizasyondaki çalışanın iş performansının belirlenmesi, değerlendirilmesi ve geliştirilmesi süreci olarak tanımlanır. Organizasyonel hedeflere etkin bir şekilde ulaşmayı sağlarken, aynı zamanda, tanınma, geribildirim alma ve kariyer rehberliği konularında fayda sağlar. (Lansbury, 1988).

Bir çalışanın değerlendirme derecesi, organizasyonun başarısına yaptığı katkılara bağlıdır. Doğru ve tarafsız bir değerlendirme sistemine sahip olunması, çalışanların kuruluşun hedeflerine ulaşmasındaki katkısının doğru bir şekilde ölçülebilmesi açısından önem taşır (Shaout & Yousif, 2014).

Bilgi teknolojisi bilgi işlem kaynakları tarafından sağlanan tüm faaliyetler, çözümler ve çeşitli alanlarla ilgili uygulamalar olarak özetlenebilir. Aynı zamanda, bilgilerin depolanmasına, işlenmesine ve iletilmesine olanak sağlamaktadır. BT donanım, yazılım ve veri iletişimi ile sınırlı değildir. Hesaplama yöntemlerini planlamak, sistemleri geliştirmek, destek sağlamak, yazılım üretmek, operasyon ve üretim süreçlerine destek vermek ve donanım desteği sağlamak için gerekli teknolojiler mevcuttur. Bilgi teknolojileri tanımı bilgisayar kaynağını kullanarak toplumda geliştirilen bu tarz faaliyetlerin hepsini kapsar (Paletta & Junior, 2008).

Günümüz teknoloji dünyasında bilgi teknolojileri bir kurumun mihenk taşlarından bir tanesidir. Kurumun hedeflediği amaca ulaşmasında en etkili yardımcı faktörler arasındadır. Daha kaliteli, daha etkin ve daha az maliyetle işlerin yürütülmesine olanak sağlayan kritik bir araçtır. Özellikle bankalar gibi finansal işlem yoğunluğunun fazla olduğu kuruluşlarda, tüm süreçlerin, tüm karmaşık işlemlerin, akışların bilgi teknolojileri sayesinde yürütülebildiği görülebilmektedir.

Rekabeti destekleyen en etkili parçalardan biri olan bilgi teknolojilerine ait çalışan gruplarından biri olan iş analistlerinin kurumun işleyişine olan katkısı yadsınamaz. Bilgi teknolojilerinde kritik bir öneme sahip olan iş analistlerine ait personel performans değerlendirme kriterlerinin yapılan işin niteliğine uygun bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bu alandaki çalışmalar incelendiğinde, Bilgi teknolojileri iş analistine yönelik personel performans değerlendirmesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın iki amacı vardır. Birinci amacı, literatürde yer almayan iş analisti performans değerlendirmesindeki boşluğu doldurmaktır. Bir diğeri ise iş analisti performans değerlendirme problemi için Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analizin birlikte kullanılmasını sağlayan entegre bir model önermektir.

İş analisti performansının belirlenmesi için iki aşamalı bir metot geliştirilmiştir. İlk aşamada kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanması için Bulanık Analitik Hiyerarşi (BAHS) tekniği ve ikinci aşamada çalışan performansını hesaplamak için Gri İlişkisel Analizi (GİA) yöntemi kullanılacaktır. Çalışmanın performans ölçüm kriterlerini belirleme aşamasında literatür taraması ve bu sektörde çalışan uzmanlardan istifade edilmiştir. Özellikle personel performans kriterlerindeki sübjektifliği etkin bir şekilde ele almak için bulanık AHP kullanılmıştır. Bunun yanı sıra karar probleminde hem sübjektif hem de objektif düşüncelerin, hem nitel hem de nicel bilgilerin karar sürecine dâhil edilmesine olanak tanınması AHP yöntemini bu tarz problemlerde çok kullanışlı kılmaktadır.

Bu çalışmanın devamında Bölüm 2’de personel performans değerlendirme konularını içeren çalışmalarda kullanılan yöntemler incelenmiştir. Bölüm 3’te Bulanık AHS ve GRİ ilişkisel yöntemler kısaca ele alınmıştır. Bölüm 4’te üç yöneticiden alınan kriterleri üç personel üzerinden değerlendirmek üzere önerilen model uygulanmıştır.

2.LİTERATÜR

Literatürde personel performans ölçümü ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda aktarılmıştır.

Kayhan (2010) Özel Sektör bünyesinde Boydak A.Ş de performans değerlendirme problemini Bulanık AHP (Analytical Hierarchy Process) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) tekniklerini kullanarak ele almıştır. Subaşı (2011) dış denetim firması seçimi için AHP ve TOPSIS i kullanmıştır. Taşkan (2012) imalat sektöründe faaliyet gösteren ortalama ölçekli bir tekstil firması için uygun çalışma şeklinin belirlenmesi problemine çözümü için Choquet integrali ve bulanık Vikor (Višekriterijumsko Kompromisno Rangiranje) yöntemleri ile değerlendirilerek en uygun alternatifin belirlenmesine çalışılmıştır. Biçer (2014) Hazır Giyim sektöründe faaliyet gösteren 4 şirkette 360 derece performans değerlendirme yöntemi uygulamıştır. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 22 ile hipotezleri sınamıştır. Eryalçın (2014) Uygulamasında, performans yönetimi ile ilgili bir uzmana danışarak AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Memik (2017) İmalat sektöründe çalışan personellerin performans ölçümü için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Özbek (2018) İnsan kaynakları yönetiminin personel seçimi için AHP tekniğini kullanarak web tabanlı uygulama geliştirmiştir. Erdoğan (2018) imalat sektöründe çalışanların performansını ölçmek için AHP tekniğini kullanmıştır. Erdoğan (2018) Bulanık Topsis ve Bulanık AHP yöntemleri ile banka finansal performanslarını karşılaştırmıştır. Gelashvili (2019) ‘Gıda, İçki ve Tütün’ sektöründe işlem gören firmaların 2012-2016 dönemine ait finansal performanslarının çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) ve TOPSIS kullanarak değerlendirmiştir. Enicük (2019) Deri ve dōşeme kumaş sektöründe faaliyet gösteren Lanse Ayakkabı ve Yan San. Tic. A.Ş. firmasının mağaza müdürü seçimi için personel performans değerlendirme problemini ele almıştır. Performans değerlendirme probleminin çözümü için AHP yöntemini kullanmıştır. Ülker (2019) İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı Kariyer havuzu personeli arasından şef kademesi için en uygun liderin belirlenmesi için Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Çetin (2019) Ankara Esenboğa Havalimanı’nda hizmet veren üç havayolu şirketinin performans değerlendirmesi için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinden yararlanmıştır. Akgünel (2019) bilişim sektöründeki firmaların finansal analiz tekniklerinden olan rasyolar için TOPSIS ve VIKOR tekniklerini uygulayarak sıralama işlemi gerçekleştirmiştir. Kaya (2019) yazılım danışmanlık hizmeti veren firmanın 360 derece değerlendirme formunun tasarımı için Bulanık AHP ve AHP yöntemlerini kullanmıştır. Toksarı (2011) Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren işletmenin hedef pazarının belirlenmesi için AHP yöntemlerinden olan Chang’ın Mertebe Analizini uygulamıştır. Mittal ve ark. (2009) Hint Bilgi Teknoloji şirketinde çalışanların

terfisi için AHP yöntemini uygulamışlardır. Rahmati ve Noorbahani (2017) Entekhab Industrial Group çalışanlarının kriterleri ve değerlendirme kriterlerinin ağırlığı için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Hsiao ve ark. (2011) Bilgi teknolojilerinde çalışan, Proje yöneticisi, iş analisti, mühendis, programcı, veri tabanı yöneticisinin işe alım kriterleri için AHP metodunu kullanmışlardır. Lee ve ark. (2008) Tayvan'daki İmalat endüstrisindeki bir BT departmanını Bulanık AHP yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Ecer ve Günay (2014), Borsa İstanbul'da İşlem Gören Turizm Şirketlerinin finansal performans ölçümünü, şirketlerin finansal oranlarını kullanarak Gri ilişkisel yöntem ile değerlendirmişlerdir. Avazpour, Ebrahim, Fathi, Elektrik enerjisi ve enerji endüstrisinde faaliyet gösteren İranlı firmanın, personellerinin 360 derece performans değerlendirilmesinde Bulanık AHP ve TOPSIS kullanmışlardır. Lidinska, Jablonsky, yönetim danışmanlığı şirketinin çalışanlarının performans değerlendirilmesinde AHP methodunu kullanmışlardır. Ulutaş, Özkan, Tağraf (2018) Elektrik aksamı üreten fabrikaya alınacak personellerin seçimi için Bulanık Analitik Hiyerarşi ve Gri İlişkisel Yöntemi kullanmışlardır.

Şentürk (2015) İşletme için 360 derece performans değerlendirme yöntemi uygulamıştır. Sezikli (2011) Bilgi teknolojilerinin banka çalışanlarının performansı üzerine olan etkilerini SPSS18 programında değerlendirmiştir. Kocabay (2010) Performans değerlendirme, geri bildirim, kariyer planlama ve örgütsel bağlılık arasındaki ilişkileri incelemiştir. Nemutlu (2017) Performans Değerlendirme ve Performans değerlendirme yöntemlerini ele almıştır. Şahin (2019) Ağrı ili Doğubeyazıt ilçesi Emniyet Müdürlüğüne bağlı görev yapan polis memuru ve amirlerinden toplanan veriler ile performans değerlendirme iş tatmini ilişkisini incelemiştir. Koçak (2019) A Şirketler Grubu'nun Konya'daki inşaat sektörü çalışanları üzerindeki performans ölçüm ve değerlendirme sisteminin örgütsel adalet bağlamında değerlendirmiştir. Kuhak (2019) bankalarda çalışan gişe görevlileri, operasyon asistanları, operasyon yetkilileri, bireysel müşteri ilişkileri yetkilileri, bireysel müşteri ilişki yetkili yardımcıları, ticari müşteri ilişkileri yetkilileri, ticari müşteri ilişkileri yetkili yardımcıları ve şube müdürü olarak görev yapan iş görenlere çalışmaya ilişkin bir anket uygulamış ve performans sisteminin kamu ve özel sektör bankacılık arasında farklılık göstermediğini vurgulamıştır. Travis ,Eves , Bourdette, Varjian çalışanın performansını belirlemek, farklılaştırmak ve ödüllendirmek için bir performans yönetimini ele almışlardır. Bu performans yönetim sistemi, performans durumunu çalışana bildirmek için gerekli araçları, bildirilen performans durumu ile performans standardı arasındaki farkları çalışana iletmeyi ve çalışanın bildirilen standarda göre performans durumunu ayarlaması için bir yol geliştirmeyi konu almışlardır. Lindia ve Morfe (2014) kurumsal intranet veya web tabanlı internet uygulamaları için uygun olan, tamamen otomatize 360 derece çalışan değerlendirme sistemini açıklamışlardır. Belirttikleri sistem sayesinde çalışanın yöneticilerinden, çalışma arkadaşlarından, müşterilerden ve çalışanın kendisinden edinilen data toplanabildiği ifade etmişlerdir. Craig (2013), çalışanların üretkenliği, çalışanın kendine atanan görevleri yerine getirmek için bilgisayar uygulamalarını ne kadar kullandığı verisinden çıkarılabileceği sonucuna varıyor. Rodriguez (2017), makalesinde yöneticilerin, çalışanın performansı için eğitim ve kişisel gelişimin önemini farkında olması gerektiği vurguluyor. Ayrıca yöneticilerin çalışan performansını değerlendirmek için sistematik yöntemler kullanması gerektiğine de değiniyor. Bu sayede organizasyonların rekabetçi yapıya sahip olacağı sonucuna varıyor. Alroaia ve Najafi 2012, İran'ın doğu kesiminde yer alan Tabas şehrinin belediyesinde çalışan tüm çalışanların performans ölçümü için 360 derece geri bildirim sistemi tasarlıyorlar.

2.1. Literatür Özeti

Literatür taramasından elde edilen bilgilere göre yıllara göre uygulanan yöntemler ve uygulandıkları sektörler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yıllara Göre Uygulanan Yöntemler ve Uygulandıkları Sektörler

Yıl	Kaynak	Yöntem	Sektör
2008	Lee ve ark. (2008)	Bulanık AHP	İmalat
2009	Mittal ve ark. (2009)	AHP	Bilgi Teknolojileri
2010	Kayhan (2010)	AHP ve TOPSIS	Enerji
2011	Subaşı (2011)	AHP ve TOPSIS	Denetim firması
2011	Toksarı (2011)	AHP	Beyaz eşya
2011	Hsiao ve ark. (2011)	AHP	Bilgi Teknolojileri
2011	Wei (2011)	Gri İlişkisel Analiz	ERP
2012	Taşkan (2012)	Chaquet ve Bulanık VIKOR	İmalat
2014	Ecer ve Günay (2014)	Gri İlişkisel Analiz	Turizm
2017	Memik (2017)	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	İmalat
2017	Rahmati ve Noorbahani (2017)	AHP ve Bulanık TOPSIS	Sanayi
2018	Özbek (2018)	AHP	İnsan kaynakları
2018	Erdoğan (2018)	AHP	İmalat
2018	Erdoğan (2018)	Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS	Banka
2018	Lidinska ve Jablonsky (2018)	AHP	Yönetim danışmanlığı
2018	Ulutaş ve Tağraf (2018)	Bulanık AHP ve Gri İlişkisel	Elektrik
2018	Fahimnia ve ark. (2018)	Bulanık tabanlı VIKOR, Bulanık TOPSIS, Bulanık Gri İlişkisel	Tedarik
2019	Gelashvili (2019)	AHP, PROMETHEE ve TOPSIS	Gıda, İçki, Tütün
2019	Enicük (2019)	AHP	Deri ve döşeme kumaş
2019	Ülker (2019)	Bulanık AHP	Belediye
2019	Çetin (2019)	AHP ve Bulanık TOPSIS	Havayolu
2019	Akginel (2019)	TOPSIS ve VIKOR	Bilişim
2019	Kaya (2019)	Bulanık AHP ve AHP	Bilişim

2.2. Literatür Taraması Sonuçları ve Literatürdeki Boşlukları

Tablo 1’de görüldüğü gibi personel performans değerlendirme, personel seçiminde, finansal performans değerlendirmesinde ÇKKV yöntemleri tercih edilmektedir ve genellikle Gri İlişkisel yöntemin tedarik seçiminde, turizm finansal performans değerlendirilmesinde kullanıldığı gözlemlenmektedir.

Literatür taraması sonucunda, literatür boşlukları;

- Çalışmaların çoğunda AHP yöntemi kullanılmış, bulanık kümelerden çok kısıtlı yararlanılmıştır.
- Çalışmalar genel olarak personel performans değerlendirme, personel seçiminde, finansal performans değerlendirmesi üzerine gerçekleşmiştir. Banka bünyesinde bulunan Bilgi teknolojileri iş analistine yönelik personel performans değerlendirmesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır.
- Personel performans ölçümünde, Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerini kullanan çalışmaya rastlanmamıştır.

Yapılan bu çalışmada, Bilgi teknolojileri iş analisti personel performansının değerlendirmesine yönelik literatürde ilgili boşlukları doldurmak amacıyla hibrit model sunulmaktadır. Model; banka bünyesinde bulunan bilgi teknolojileri yöneticilerden alınan kriterlerden yararlanarak kriter ağırlıklandırması için Bulanık AHP ve sıralama için Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanarak personel performans değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

3. METODOLOJİ

Mevcut çalışmadaki metodolojik yaklaşım iki ana başlıkta ele alınmıştır. İlk adımda bulanık analitik hiyerarşi süreci, ikinci adımda ise Gri İlişkisel Analiz yöntemi anlatılmıştır.

3.1. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS)

Belirsizlik, karar verme aşamasından önemli parametreler hakkında net bir bilginin olmaması sonucu sürecini karmaşık hale getiren etkenlerdendir. Klasik mantık anlayışında hakkında net bilgi olmayan süreçler için çözüm önerilmesi çok zordur. Gerçek hayatta birçok süreç belirsizlik içermektedir. Bu durumda başvurulan yöntemlerden birisi de bulanık mantıktır. Karmaşıklığı önlemeye yönelik olan bulanık mantık Lutfi Ali Askerzade (Zadeh) tarafından 1965 yılında Berkeley’de ortaya atılmıştır. Bulanık mantığın klasik mantıktan ayrılan yönü; klasik mantık (0-1) olarak iki değere sahip iken, bulanık mantık ise [0-1] aralığında ikiden fazla değerlere sahiptir. Bu çalışmada belirsizlik ortamında karar verme işlevini desteklemek için AHP yöntemi bulanık ortamda ele alınmıştır. Bulanık AHP ile ilgili ilk çalışma Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Bulanık sayıların önem dereceleri Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. Bulanık Sayıların Önem Dereceleri (Paksoy ve ark., (2013))

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Daha Önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok Daha Önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Kesinlikle Daha Önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

BHAS yöntemi temel olarak 5 adımdan oluşmaktadır.

1 Adım: Karar matrisinin oluşturulması

Kriterler hakkındaki fikirler bulanık sayılara çevrilir. Üstünlüklere göre karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$$

$$\tilde{a}_{ij} = (l(\tilde{a}_{ij}), m(\tilde{a}_{ij}), u(\tilde{a}_{ij})) \text{ ve } \tilde{a}_{ij}^{-1} = \left(\frac{1}{u(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{m(\tilde{a}_{ij})}, \frac{1}{l(\tilde{a}_{ij})} \right), i, j = 1, \dots, n; i \neq j$$

2.Adım: Bulanık değerlerin bulanık olmayan değerlere çevrilmesi

Matrisin tutarlılık oranının bulunabilmesi için, Bulanık değerler bulanık olmayan değerlere çevrilir. (Wang & Elhag, 2007, s.144)

$$a_{ij} = \frac{l(\tilde{a}_{ij}) + m(\tilde{a}_{ij}) + u(\tilde{a}_{ij})}{3}, \quad i, j = 1, \dots, n$$

3.Adım: Tutarlılık kontrolü

Tutarlılık indeksi ve Tutarlılık oranı bulunur.

Tutarlılık indeksi (CI) , Tutarlılık oranı (CR) olarak gösterilmiştir.

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

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tutarlılık oranı 0-1 aralığında ise bilgiler tutarlıdır. 0-1 aralığı dışındaysa karar matrisi tekrar gözden geçirilmelidir.

4.Adım: Karşılaştırma Matrisindeki satırların toplanması

$$\tilde{RS}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{ij}), \sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{ij}) \right), i, j = 1, \dots, n$$

5. Adım: Normalizasyon

Satır toplamları normalize edilir, bulanık ağırlıklar elde edilir.

$$\tilde{w}_i = \frac{\tilde{RS}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{RS}_i} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{ij}) + \sum_{q=1, q \neq j}^n \sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{qj})}, \frac{\sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{q=1}^n \sum_{j=1}^n m(\tilde{a}_{qj})}, \frac{\sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{j=1}^n u(\tilde{a}_{ij}) + \sum_{q=1, q \neq j}^n \sum_{j=1}^n l(\tilde{a}_{qj})} \right) = (l(\tilde{w}_i), m(\tilde{w}_i), u(\tilde{w}_i)), i, j = 1, \dots, n$$

6. Adım: Bulanık Ağırlıkların bulanık olmayan ağırlıklara çevrimi

$$w_i = \frac{l(\tilde{w}_i) + m(\tilde{w}_i) + u(\tilde{w}_i)}{3}, i = 1, \dots, n$$

7. Adım: Ağırlıkların normalizasyonu

$$w_i^* = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, i = 1, \dots, n$$

3.2 Gri İlişkisel Analiz

Gri sistem teorisi kullanılarak geliştirilmiş, Gri ilişkisel derece temeline dayalı bir derecelendirme, sınıflama ve karar verme tekniğidir. (Liu & Lin 2006, s.78)

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması

‘n’ alternatifleri ‘m’ ise kriterleri temsil etmek üzere nxm boyutlu bir karar matrisi aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$X_i = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n(1) & x_n(2) & \dots & x_n(n) \end{bmatrix}$$

2. Adım: Verilerin Normalize Edilmesi

Karar problemlerinde yer alan kriterler arasında farklı ölçütlerin kullanılması durumunda kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılması oldukça zordur. Bu nedenle verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işleminde fayda, maliyet ve optimallik göz önünde bulundurulmalıdır.

Fayda özelliği; amaç; faydayı maksimize etmek ise aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$x_i^* = \frac{x_i(j) - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)}$$

Maliyet özelliği; amaç; maliyetleri minimize etmek ise aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$x_i^* = \frac{\max_j x_i(j) - x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)}$$

Optimallik özelliği; amaç ortalama bir değer elde etmek ise aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$x_i^* = \frac{|x_i(j) - x_{0b}(j)|}{\max_j x_i(j) - x_{0b}(j)}$$

(Karkacier & Yazgan, 2017, s.156; Şişman & Eleren, 2018, s.414)

3.Adım: Referans Serisinin Oluşturulması

$x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(j), \dots, x_0(n))$ referans serisi şeklindedir. Normalize edilmiş karar matrisinin her bir sütunundaki maksimum değer alınarak referans serisi oluşturulur.

$$X_i^* = \begin{vmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^*(1) & x_n^*(2) & \dots & x_n^*(n) \end{vmatrix}$$

4.Adım: Mutlak Değer Tablosunun Oluşturulması

Bu adımda kriterlerin katsayı farklılıkları bulunur. Katsayı normalize edilmiş karar matrisinden referans değerinden çıkartılması ile hesaplanır.

$$\Delta_{oi}(j) = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| = \begin{vmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \dots & \Delta_{01}(n) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \dots & \Delta_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{0m}(1) & \Delta_{0m}(2) & \dots & \Delta_{0m}(n) \end{vmatrix}$$

5.Adım: Gri İlişkisel Katsayısının Hesaplanması

Farklı her bir veri dizisi içindeki Δ_{max} ve Δ_{min} değerleri bulunur. Gri ilişkisel matris katsayısı formülü aşağıda yer almaktadır. ξ (distinguish) : uç değer olma olasılığını ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır. (0,1) aralığında değer alır. Uygulamalarda genellikle 0,5 olarak alınır. (Meydan ve ark., 2016, s. 155)

$$\gamma_{oi}(j) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(j) + \xi \Delta_{max}}$$

Δ_{max} : Dizideki en büyük değişim

Δ_{min} : Dizideki en küçük değişim

6.Adım: Gri İlişki Derecesinin Hesaplanması

Her bir kritere ait ilişki derecesi hesaplanır ve sıralama yapılır.

Formül aşağıda belirtilmiştir.

$$\Gamma_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{oi}(j)$$

Γ_{oi} 'nci dizinin ilişkisel derecesini belirtmektedir. Kriterler eşit ağırlıktaysa bu formül uygulanmaktadır. Kriterler farklı ağırlıklara sahip ise aşağıda yer alan formül kullanılır. Çıkan sonuçta ilişki derecesi en büyük olan en iyi alternatifi göstermektedir. (Kenger, 2017, s.62-63, Öziç ve ark., 2017, s.71)

$$\Gamma_{oi} = \sum_{j=1}^n [W_i(j) \gamma_{oi}(j)]$$

4. UYGULAMA

Bilgi teknolojileri, iş analisti performansı kriterleri ve alt kriterleri minimum 20 yıl sektörde deneyimli 3 yönetici tarafından belirlenmiştir. Ana kriterler; iş metrikleri, kurumsal standartlar, kalite, iç müşteri memnuniyeti, takım çalışması, yetkinliktir.

Alt kriterler; Beklenen işin zamanında bitirilmesi (IK1), Üzerine atanan işlerin sonuçlandırılması (IK2), Alınan işin miktarı ile ünvanının uyumu (IK3), İş bilgisi/teknik yeterliliği (IK4), Gereksinimlerin doğru bir şekilde toparlanması (KS1), Test yordamının doğru hazırlanması ve yapılması (KS2), UAT koordinasyonu (KS3), Uygulama talimatlarına göre gerekli dokümanların hazırlanması ve onay süreçlerinin doğru şekilde işletilmesi (Analiz / Test yordamları/risk/tasarım) (KS4), Üretim ortamına taşınan işlerin hata payı (K1), Üretim yaşanan problemlere kalıcı çözüm sağlama (K2), Takım içi 360 derece değerlendirme sonucu (IMM1), Paydaşlardan alınan geri bildirim sonucu (IMM2), Yönetici değerlendirme sonucu (IMM3), İş birliği (TC1), Bilgi paylaşımı (TC2), Sorumluk duygusu (Y1), Çözüm odaklılık (Y2), Analitik yaklaşım (Y3), Özveri (Y4), Etkin Zaman Yönetimi (Y5), Baskı ve stresle mücadele (Y6), Müzakere İkna Becerisi (Y7) .

Tablo 3. İş Analisti Performans Değerlendirme Kriterleri

Ana Kriterler	Alt Kriterler
İş Metrikleri	Beklenen işin zamanında bitirilmesi (IK1) Üzerine atanan işlerin sonuçlandırılması (IK2) Alınan işin miktarı ile ünvanının uyumu (IK3) İş bilgisi/teknik yeterliliği (IK4)
Kurumsal Standartlar	Gereksinimlerin doğru bir şekilde toparlanması (KS1) Test yordamının uygulama talimatına göre hazırlanması ve yapılması (KS2) UAT koordinasyonu (KS3) Uygulama talimatlarına göre gerekli dokümanların hazırlanması ve onay süreçlerinin doğru şekilde işletilmesi (Analiz/Test yordamları/risk/tasarım) (KS4)
Kalite	Üretim ortamına taşınan işlerin hata payı (K1) Üretim yaşanan problemlere kalıcı çözüm sağlama (K2)
İç Müşteri Memnuniyeti	Takım içi 360 derece değerlendirme sonucu (IMM1) Paydaşlardan alınan geri bildirim sonucu (IMM2) Yönetici değerlendirme sonucu (IMM3)
Takım çalışması	İş birliği (TC1) Bilgi paylaşımı (TC2)
Yetkinlikler	Sorumluluk duygusu (Y1) Çözüm odaklılık (Y2) Analitik yaklaşım (Y3) Özveri (Y4) Etkin Zaman Yönetimi (Y5) Baskı ve stresle mücadele (Y6) Müzakere İkna Becerisi (Y7)

4.1 Çalışma Bulguları

Bilgi teknolojileri yöneticilerinden alınan verilerde öncelikle tutarlılık kontrolü yapılmıştır. Bütün sonuçların tutarlılık oranının (0-1) aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bulanık AHP yöntemi kullanılarak normalize edilmiş kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Aşağıda yer alan tablo 4 üç yöneticinin belirlediği normalize edilmiş kriter ağırlıklarını göstermektedir.

Tablo 4. Kriterler ve Ağırlıklar

Kod	Alt Kriterler	Ağırlıkları
IK1	Beklenen işin zamanında bitirilmesi	0,167689935
IK2	Üzerine atanan işlerin sonuçlandırılması	0,099659876
IK3	Alınan işin miktarı ile ünvanının uyumu	0,022220016
IK4	İş bilgisi/teknik yeterliliği	0,037136039
KS1	Gereksinimlerin doğru bir şekilde toparlanması	0,056115983
KS2	Test yordamının doğru hazırlanması ve yapılması	0,049272634
KS3	UAT koordinasyonu	0,041267075
KS4	Uygulama talimatlarına göre gerekli dokümanların hazırlanması ve onay süreçlerinin doğru şekilde işletilmesi (Analiz / Test yordamları/risk/tasarım)	0,034791547
K1	Üretim ortamına taşınan işlerin hata payı	0,144618811
K2	Üretim yaşanan problemlere kalıcı çözüm sağlama	0,093116265
IMM1	Takım içi 360 derece değerlendirme sonucu	0,020252168
IMM2	Paydaşlardan alınan geri bildirim sonucu	0,026285816
IMM3	Yönetici değerlendirme sonucu	0,027100157
TC1	İş birliği	0,042701468
TC2	Bilgi paylaşımı	0,019768199
Y1	Sorumluluk duygusu	0,017889009
Y2	Çözüm odaklılık	0,017962995
Y3	Analitik yaklaşım	0,019967948
Y4	Özveri	0,019075327
Y5	Etkin Zaman Yönetimi	0,013559245
Y6	Baskı ve stresle mücadele	0,015222586
Y7	Müzakere İkna Becerisi	0,014326902

Gri ilişki analizi yöntemi çözümü ise aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması

Problemde verilen 3 farklı personel için 23 farklı kriterlerden oluşan karar matrisi aşağıda Tablo 5’ te gösterilmiştir. Alt kriterler arasında ilişki yoktur.

Tablo 5. Personellerin Kriterlere Göre Puanları ve Karar Matrisi

Alt kriterler/Personel	Personel1	Personel2	Personel3	max	min
IK1	100	101	105	105	100
IK2	110	105	105	110	105
IK3	105	102	100	105	100
IK4	110	105	102	110	102
KS1	105	110	115	115	105
KS2	110	109	115	115	109
KS3	105	107	115	115	105
KS4	105	110	120	120	105
K1	115	100	110	115	100
K2	115	105	100	115	100
IMM1	110	100	105	110	100

IMM2	105	105	102	105	102
IMM3	110	105	105	110	105
TC1	110	120	115	120	110
TC2	110	115	110	115	110
Y1	100	110	120	120	100
Y2	110	105	120	120	105
Y3	105	105	115	115	105
Y4	105	110	120	120	105
Y5	100	105	110	110	100
Y6	110	110	115	115	110
Y7	105	105	110	110	105

Adım 2: Verilerin Normalize Edilmesi

Her bir kriterin aday üzerindeki etkisi incelenir. Verilerin normalize edilmesi Tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	Personel1	Personel2	Personel3
IK1	0	0,2	1
IK2	1	0	0
IK3	1	0,4	0
IK4	1	0,375	0
KS1	0	0,5	1
KS2	0,1666667	0	1
KS3	0	0,2	1
KS4	0	0,3333333	1
K1	1	0	0,6666667
K2	1	0,3333333	0
IMM1	1	0	0,5
IMM2	1	1	0
IMM3	1	0	0
TC1	0	1	0,5
TC2	0	1	0
Y1	0	0,5	1
Y2	0,3333333	0	1
Y3	0	0	1
Y4	0	0,3333333	1
Y5	0	0,5	1
Y6	0	0	1
Y7	0	0	1

Adım 3: Referans Serisinin Oluşturulması

Normalize edilmiş karar matrisinin her bir kriterin en büyük referans değeri alınır.

Tüm kriterlerin referans serisinin 1 olduğu gözlemlenmiştir

Adım 4: Mutlak Değer Tablosunun Oluşturulması

Normalize edilmiş karar matrisinden referans değerinin çıkarılmasıyla katsayı farklılıkları bulunur. Mutlak değer bilgisi Tablo 7’ de yer almaktadır.

Tablo 7. Mutlak Değer Tablosu

Kriterler	Referans Serisi	Personel1	Personel2	Personel3	λ max	λ min
IK1	1	1	0,8	0	1	0
IK2	1	0	1	1	1	0
IK3	1	0	0,6	1	1	0
IK4	1	0	0,625	1	1	0
KS1	1	1	0,5	0	1	0
KS2	1	0,83333333	1	0	1	0
KS3	1	1	0,8	0	1	0
KS4	1	1	0,6666667	0	1	0
K1	1	0	1	0,33	1	0
K2	1	0	0,6666667	1	1	0
IMM1	1	0	1	0,5	1	0
IMM2	1	0	0	1	1	0
IMM3	1	0	1	1	1	0
TC1	1	1	0	0,5	1	0
TC2	1	1	0	1	1	0
Y1	1	1	0,5	0	1	0
Y2	1	0,6666667	1	0	1	0
Y3	1	1	1	0	1	0
Y4	1	1	0,6666667	0	1	0
Y5	1	1	0,5	0	1	0
Y6	1	1	1	0	1	0
Y7	1	1	1	0	1	0

Adım 5:Gri İlişki Katsayısı ve Derecesinin Hesaplanması

Gri İlişkisel Katsayı hesaplanır. Her bir kritere ait ağırlık gri ilişki katsayısı ile çarpılarak gri ilişki derecesi hesaplanır. Gri İlişki derecesi Tablo 8’de, değerlendirme tablosu ise, Tablo 9’da yer almaktadır.

Tablo 8. Gri İlişki Derecesi

	Kriter Ağırlıkları	Personel1	Personel2	Personel3
IK1	0,168	0,33333333	0,3846154	1
IK2	0,100	1	0,33333333	0,33
IK3	0,022	1	0,4545455	0,33
IK4	0,037	1	0,4444444	0,33
KS1	0,056	0,33333333	0,5	1
KS2	0,049	0,375	0,33333333	1
KS3	0,041	0,33333333	0,3846154	1
KS4	0,035	0,33333333	0,4285714	1
K1	0,145	1	0,33333333	0,6

K2	0,093	1	0,4285714	0,33
IMM1	0,020	1	0,3333333	0,5
IMM2	0,026	1	1	0,33
IMM3	0,027	1	0,3333333	0,33
TC1	0,043	0,3333333	1	0,5
TC2	0,020	0,3333333	1	0,33
Y1	0,017889	0,3333333	0,5	1
Y2	0,017963	0,4285714	0,3333333	1
Y3	0,0199679	0,3333333	0,3333333	1
Y4	0,0190753	0,3333333	0,4285714	1
Y5	0,0135592	0,3333333	0,5	1
Y6	0,0152226	0,3333333	0,3333333	1
Y7	0,0143269	0,3333333	0,3333333	1

Tablo 9. Gri İlişki Değerlendirme Tablosu

	Gri İlişki Derecesi	Sıralama
Personel1	0,680304621	2
Personel2	0,449126173	3
Personel3	0,709841957	1

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Personel performans değerlendirmesi, verimliliğin artırılmasında etkin faktörlerden biridir. Performans değerlendirme sürecinin en yaygın olarak kullanıldığı sektörlerden biri de bilgi teknolojileridir. Bilgi teknolojilerinin iş süreçlerindeki karmaşıklık, personel verimliliğinin ölçülmesini güçleştirmektedir. Bu güçlüğü ve karmaşıklığa bir çözüm niteliği sağlaması açısından çok amaçlı karar verme teknikleri kullanılmıştır. Tekniklerde kullanılmak üzere bilgi teknolojilerinde çalışan iş analistlerinin performans ana ve alt kriterleri minimum 20 yıl bilgi teknolojilerinde çalışan yöneticiler tarafından belirlenmiştir. Bu kriterlere bağlı olarak 3 personel değerlendirilmiştir. Bu kriterlerin ağırlıkları Bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Personel performans sıralamasında Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre 3 nolu personelin performansının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Önerilecek modelin uygulama ve doğrulaması, Türkiye’de faaliyet gösteren özel bir bankanın bilgi teknolojileri departmanında yapılmıştır. Bu modelin iş analisti performans değerlendirme aşamasında yöneticilerin iş süreçlerine kolaylık sağlaması beklenmektedir. Daha önce Bilgi teknolojileri iş analisti performansını ölçen bir makale olmaması nedeniyle makale önem arz etmektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemler Bilgi Teknolojileri iş analisti performans ölçümü için örnek teşkil edecektir.

Gelecek çalışmalarda, bilgi teknolojilerinin yazılım geliştirme, altyapı, destek ve operasyon personellerinin de performans kriterlerinin belirlenmesi sürecinde nütrosifik, küresel bulanık tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri kullanılabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Bu çalışmada Doç. Dr. Berk AYVAZ fikir, eleştiri, bilgisayar ortamının sağlanması konusunda katkıda bulunmuştur. Neslihan KURT araştırma, veri toplama, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Makaleyi değerlendiren hakemlere değerli katkılarından dolayı 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

- Akçabat, T. (2009). *İnsan kaynakları yönetiminde performans değerlendirme: Isparta İl Emniyet Müdürlüğü'nde bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Isparta.
- Akginel, S. (2019). *Çok kriterli karar verme teknikleriyle bilişim sektöründe performans değerlendirmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İzmir.
- Alroaia, Y.V. ve Najalfi, Z. (2012). *Performance measurement of employee using an integrated 360° feedback system and AHP method: A case study of municipality*. Department of Management, Semnan Branch, Islamic Azad University. P.O.B: 35145-175. Semnan, Iran.
- Atan, M. ve Altan, Ş. (2020). Örnek uygulamalarla çok kriterli karar verme yöntemleri, *Gazi kitapevi*, Ankara.
- Avazpour, R., Ebrahimi, E. ve Fathi, M.R. (2013). A 360 degree feedback model for performance appraisal based on fuzzy AHP and TOPSIS. *International Journal of Economy, Management and Social Sciences*, 2(11), 969-976.
- Biçer, E. (2014). *İnsan kaynakları yönetiminde performans değerlendirme ve örnek* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Chang, T.S., Huang, M.S. ve Chen, Y.C. (2011). Selection criteria of recruitment for information systems employees: Using the analytic hierarchy process (AHP) method, *Journal of Business Management*. 5(15), 6201-6209.
- Craig, S. (2013). Employee performance evaluation, *United States Patent Application Publication* Pub. No: US 2014/0032280 A1 Etchegoyen.
- Çetin, A. (2019). *Bulanık TOPSIS ve AHP yöntemleri ile performans değerlendirmesi: Esenboğa havalimanında bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Ankara.
- Ecer, F. ve Günay, F. (2014). Borsa İstanbul'da işlem gören turizm şirketlerinin finansal performanslarının gri ilişkisel analiz yöntemiyle ölçülmesi, *Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi*. 25(1), 35 – 48.
- Enicük Karpuz, G. (2019). *Personel performans değerlendirme probleminin çözümünde analitik hiyerarşi süreci ve bir uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kütahya.

- Erdoğan, U. (2018). *A design of multi-criteria based decision support system for employee performance evaluation: a real world application* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Eryalçın, S. A. (2014). *Performans değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi ve en uygun yöntemin AHP-TOPSIS uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Gelashvili, T. (2019). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ile performans değerlendirmesi: AHP, TOPSİS ve Promethee yöntemlerinin karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İzmir.
- Islama, R. ve Rasad, S.B.M. (2006). Employee performance evaluation by the AHP: A case study. *Pacific Management Review*. 11(3), 163-176.
- Kaya, B. (2019). *Bulanık AHP ve AHP destekli 360 derece performans değerlendirme yönetim bilgi sisteminin kurulması ve uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi], Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kayhan, G. (2010). *İnsan kaynakları performans değerlendirmesinde Bulanık AHP / Bulanık Topsis ile Hibrit yapı oluşturulması* [Yüksek Lisans Tezi]. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kayseri.
- Kocabey, U. (2010). *İşletmelerde Performans Değerlendirme/ Geri Bildirim / Kariyer Planlama* [Yüksek Lisans Tezi], Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kocaeli.
- Koçak, A. (2019). *İnsan kaynakları yönetimindeki performans ölçüm ve değerlendirme sisteminin örgütsel adalet bağlamında değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Kuhak, C. (2019). *Kamu ve özel bankaların uygulamış olduğu performans değerlendirme sistemlerinin çalışanların iş tatmini üzerindeki etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Munzur Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Tunceli.
- Lansbury, R. (1988). Performance management: A process approach, *Asia Pacific Journal of Human Resources*. 26(2), 46-55.
- Lee, A.H.I., Chen, W.C. ve Chang, C.J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*. 34, 96–107.
- Lidinska, L. ve Jablonsky, J. (2018). AHP model for performance evaluation of employees in a Czech management consulting company, *Central European Journal of Operations Research*. 26(1), 239-258.
- Lindia, S.A. ve Morfe, S. (2014). Employee performance monitoring other publications system, S.United States Patent Patent No: US 8,744,904.
- Memik, M.B. (2017). *Personel performans değerlendirme süreci için bulanık ortamda bütünleşik bir model önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

- Mittal, K.C., Goel, A.K. ve Mohindru, P. (2009). Performance evaluation of employees using Analytical Hierarchical Process: A case study of Indian IT Industry. *Asia-Pacific Business Review*. 4, 119-127.
- Nemutlu, M.C. (2017). *Performans değerlendirme ve performans değerlendirme yöntemleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Özbek, D. (2018). *Çok kriterli karar verme yöntemi Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile etkin personel seçimine yönelik web tabanlı uygulama* [Yüksek Lisans Tezi], Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İzmir.
- Paksoy, T., Pehlivan, N.Y., ve Özceylan, E. (2013). Bulanık küme teorisi, *Nobel Yayınları*, Ankara.
- Rahmati, A. ve Noorbehbahani, F. (2017). A new hybrid method based on fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS for employee performance evaluation. *Iran. Pacific Business Review*. 4(V). 119-127,
- Rodriguez, J. (2017). The importance of training and development in employee performance and evaluation. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*. 3, 206-212.
- Sezikli, R. (2011). *Bilgi teknolojilerinin banka çalışanlarının performansına etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Shaout, A.ve Yousif, M.K. (2014). Employee performance appraisal system using fuzzy logic. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*. 6(4), 1-19.
- Subaşı, H. (2011). *Çok kriterli karar vermede kullanılan TOPSIS ve AHP yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Şahin, Y. (2019). *Kamu çalışanlarında performans değerlendirmesi ve performans değerlendirmenin iş tatmini ile ilişkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kars.
- Şentürk, B. (2015). *360 derece performans değerlendirme uygulanabilirliği üzerine bir araştırma* [Yüksek Lisans Tezi]. Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Taşkan, E. (2012). *Bulanık Choquet integrali ve Vikor ile performans değerlendirme* [Yüksek Lisans Tezi]. Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü. İstanbul.
- Toksarı, M. (2011). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yaklaşımı kullanılarak hedef pazarın belirlenmesi. *ODTÜ Geliştirme Dergisi*. 38(Nisan), 51-70.
- Travis, K.S., Eves, E.T. ve Varjian, S.A. (2004). Employee performance management method and system. *Patent Application Publication*. No: US 2004/0088.177 A1.
- Ulutaş, A., Özkan, A.M. ve Tağraf, H. (2018). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık gri ilişkisel analizi yöntemleri kullanılarak personel seçimi yapılması, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 17, 223-232.
- Ülker, S.N. (2019). *İnsan kaynaklarında bulanık AHP destekli yetenek yönetimi ile liderlerin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ İLE BİR UYGULAMA: DİZEL JENERATÖR SEÇİMİ*

AN APPLICATION WITH THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS:
SELECTION OF DIESEL GENERATORS

Vedat ÖZKÖK¹

Sibkat KAÇTIOĞLU²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
vedatozkok@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
04.05.2021

Kabul Tarihi / Accepted
08.06.2021

Öz

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) karar verme problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. AHS, çok sayıda ölçütü hiyerarşik yapıda bir araya getirerek kullanıcının düşünce ve deneyimlerinin karara yansıtılmasına imkân veren başarılı bir karar verme yöntemidir. TOPSIS, seçeneklerden pozitif ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan en iyi karar seçeneği olduğunun kabul edildiği karar verme tekniğidir. Çalışmada dizel jeneratör seçimi için Maliyet, Firma İmajı, Teknik Özellikler ve Satış Sonrası Hizmetler olmak üzere 4 ana ölçüt belirlenmiş AHS ve TOPSIS yöntemleri ile çözüm modeli oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi süreci, dizel jeneratör seçimi, karar verme, TOPSIS.

Abstract

Analytical Hierarchy Process (AHS) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) are widely used in decision making problems. AHP is a successful decision-making method that brings together many criteria in a hierarchical structure and enables the reflection of the user's thoughts and experiences to the decision. TOPSIS is a decision-making technique in which it is accepted that the one with the shortest distance from the positive ideal solution and the farthest distance from the negative ideal solution is accepted as the best decision option. In the study, 4 main criteria were determined for the selection of diesel generators, namely Cost, Company Image, Technical Specifications and After Sales Services, and a solution model was created with AHS and TOPSIS methods and the results were compared and evaluated.

Keywords: Analytical hierarchy process, decision making, diesel generator selection, TOPSIS.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye. vedatozkok@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-8115-564X.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye. skactioglu@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-8529-3775.

1. GİRİŞ

Karar verme, seçenekler arasından amaca en uygun olanın tercih edilmesidir ve o anda varılan bir yargıyı değil bir süreci ifade eder. Bu süreçte karar verici birçok ölçütü ve seçeneği değerlendirmek durumunda kalmaktadır. Seçenek ve ölçüt sayısı arttıkça karar verici için karar vermek zorlaşmaktadır. Karar verme ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda; mantıklı bir insanın nasıl karar vermesi gerektiği, insanların gerçekte nasıl karar verdikleri ve insanlara doğru kararı vermeleri için nasıl yardımcı olunabileceği sorularına cevap aranmaktadır. Bilim insanları karar vericilere yardımcı olabilecek teknikler geliştirmeye çalışmaktadırlar. Yıllardır süren çalışmalar neticesinde pek çok karar verme tekniği geliştirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemleri en sık kullanılan karar verme tekniklerindedir.

Gelişen teknoloji elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Sağlık, güvenlik, sanayi, turizm vb. gibi birçok sektör için elektrik enerjisinin sürekliliği önem arz etmektedir. Çeşitli nedenlerden dolayı elektrik enerjisinin arzı kesintiye uğrayabilmektedir. Kurum ve kuruluşlar elektrik enerjisi arzının kesintiye uğraması durumlarına karşı tedbir amaçlı olarak jeneratör kullanmaktadır.

Jeneratör seçimi, birçok alternatif arasından en uygun olanı amaçlayan bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemidir. Literatürde ÇÖKV yöntemlerinin kullanıldığı dizel jeneratör seçimi ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada sektöre ve literatüre katkı sağlamak düşüncesiyle AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak dizel jeneratör seçimi problemine bir çözüm önerisi sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde AHS ve TOPSIS yöntemleri ile yapılan çalışmalar incelenmiştir. AHS ve TOPSIS yöntemlerinin birçok ÇÖKV probleminin çözümünde kullanıldığı görülmüş ancak dizel jeneratör seçimi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Makine, ticari araç, silah, elektronik cihaz vb. gibi birçok satın alma veya seçim problemlerinde ÇÖKV yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Karar verme tekniklerinden en çok tercih edilen AHS ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı örnek çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Güngör ve Didar (2005), Otomobil seçimi problemine AHS ile çözüm önerisi sunmuşlardır. Yazarlar, Fiyat, İkinci El Fiyatı, Yakıt Tüketimi, 0-100 km'de Hızlanması, Konfor, Güvenlik, Bakım Maliyeti, Genişlik ve Sevgi Derecesi olmak üzere 9 ölçüt belirlemiş ve 8 alternatif otomobil arasından seçim yapmıştır.

Phogat ve Singh (2013), çalışmalarında bir yol inşaatında kullanılacak kazı makinesi seçim problemi için AHS, TOPSIS, PROMETHEE, SAW (Simple Additive Weights Method) ve ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) yöntemlerini kullanmışlardır. 3 ana ölçüt ve 18 alt ölçüte göre 7 adet kazı makinesi arasından en iyi alternatif olarak D80 Dozer seçilmiştir.

Kurşunoğlu ve Önder (2015), yer altı kömür madeninin havalandırması için fan seçimini AHS ile yapmıştır. Yazarlar, teknik, işletme, çevre ve ekonomik olmak üzere dört ana ölçüt ve 10 alt ölçüte göre değerlendirme yapmıştır.

Uzun (2015), İnşa sürecindeki bir gemi için ana makine ve jeneratör seçimi amacıyla yaptığı çalışmada AHS, TOPSIS ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for

Enrichment Evaluations) yöntemlerini kullanmıştır. Yazar ana makine ve jeneratör seçimini 5 ana ölçüt ve 10 alt ölçüte göre 7 seçenek arasından yapmıştır.

Karim ve Karmaker (2016), “Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods” başlıklı çalışmalarında makine seçimini AHS ve TOPSIS yöntemleri ile yapmışlardır. Yazarlar makine seçimini 3 seçenek arasından 7 ana ölçüt (Verimlilik, Esneklik, Maliyet, Kalite, Güvenilirlik, Servis imkânı, Emniyet) ve 26 alt ölçüte göre yapmıştır.

Hasnain ve ark. (2020), Soda külü üretim tesisi için endüstriyel kazan seçimini AHS ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. Çalışmada 5 seçenek arasından 17 ölçüte göre seçim yapılmıştır. Çalışmada, endüstriyel tesisler için kazan seçilirken buhar kapasitesi, işletme basıncı/sıcaklığı, yakıt tüketimi vb. gibi faktörlerin tercih edildiği görülmüştür.

3. DİZEL JENERATÖRLER

Jeneratörler şebeke elektriğinin kısa süreli kesintilerinde veya şebeke enerjisinin hiç olmadığı yerlerde elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılırlar ve kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye çeviren bir motor ve bu motorun ürettiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir alternatörden oluşurlar. Jeneratörler, kullanılan yakıt tipi, kullanım amacı ve yeri gibi özelliklerine göre çeşitlere ayrılmaktadır.

Dizel jeneratörler, yakıt olarak motorin kullanılan ve nispeten büyük güçler için üretilen makinelerdir. Birçok bileşenden meydana gelen bir dizel jeneratörün en önemli 3 bileşeni; dizel motor, alternatör ve kumanda panelidir. Bu üç bileşenin dışında, yakıt tankı, soğutma sistemi, egzoz sistemi, akü ve elektrik panosu gibi bileşenler de dizel jeneratörü oluşturan unsurlardır.

Dizel jeneratörler uzun süre sorunsuz şekilde çalışması beklentisi ile satın alınan görece pahalı cihazlardır. Tüm bileşenlerinin kaliteli malzemeler olması ve üretici firmanın yetkili servis hizmetlerinin yeterliliği bu beklentiyi karşılayacak olan önemli etmenlerdir. Dizel jeneratör satın alınırken üretici firmanın referansları, sektördeki tecrübesi ve satış sonrası hizmetleri dikkate alınması gereken hususlardır. Bir jeneratör satın alma kararı verildiğinde öncelikle güç ihtiyacı tespit edilmelidir. Gücünün çok altında veya çok üstünde çalıştırmak jeneratöre zarar vererek ömrünün kısalmasına neden olur. Ayrıca yakıt tipi, çalışma şekli ve jeneratör tipi de öncelikle belirlenmesi gereken özelliklerdir.

4. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), karmaşık karar problemlerinde seçenek ve ölçütlere göreceli önem değerleri verilerek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir, çok ölçütlü karar verme yöntemidir. AHS, karar teorisinde zengin uygulamaları olan, nitel ve nicel faktörleri birleştirme olanağı sunan güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntemdir. Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen yöntem belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok ölçütlü ve çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır. AHS, tecrübe ve bilginin de en az kullanılan veriler kadar değerli olduğu prensibine dayanır. İş ve ekonomide çok kişili, çok ölçütlü karmaşık kararların planlamasında çok kullanışlı olduğunu kanıtlayan güçlü bir yönetim karar aracıdır (Karabacak, 2011).

4.1. AHS'nin Olumlu Yönleri

AHS'nin, uygulamadaki olumlu yönleri şu şekilde sıralanabilir (Aydın, 2008; Banuelas & Antony, 2004; Kahraman ve ark., 2004; Kuruüzüm & Atsan, 2001):

- AHS, çok sayıda ölçüt ile uygulanabilir,
- İleri seviye teknikler gerektirmediği için diğer yöntemlere göre uygulaması daha kolaydır,
- AHS, nitel ve nicel faktörleri değerlendirebilir,
- Karar vericinin tercihlerini doğru tespit etmesine olanak verir.
- İnsan tercihlerini, deneyimlerini, bilgilerini, sezgilerini ve yargılarını karar sürecine dahil edebilir.
- Ağır matematiksel hesaplamalar içermez.
- Farklı koşullara uygulanabilir.
- İkili karşılaştırmaların tutarlık derecesi ölçülebilir.
- Sistemik yapısı sayesinde, çok karmaşık problemleri bile basitleştiren bir sürece sahiptir.
- Grup kararlarının alınması için çok uygun bir yöntemdir.
- AHS birçok karar verme problemine uygulanabilir.
- Duyarlık analizi sayesinde sonucun esnekliğini analiz etmek mümkündür.

4.2. AHS'nin Olumsuz Yönleri

AHS'nin uygulamadaki bazı zorluklardan dolayı eleştiriye uğrayan veya olumsuz sayılabilecek yönleri şu şekilde sıralanabilir (Aydın, 2008; Banuelas & Antony, 2004; Kahraman ve ark., 2004; Kuruüzüm & Atsan, 2001):

- Hiyerarşinin oluşturulması zor ve sübjektiflik içermesinden dolayı kesin sonuca varılamayabilir
- Karşılaştırma işlemleri daha çok gruplar tarafından yapılmasından dolayı zaman almaktadır.
- Bir seçenek eklendiğinde veya çıkarıldığında seçeneklerin sırası değişmektedir.
- Yukarıdan aşağıya doğru modellenmesi nedeniyle faktörler arası etkileşim dikkate alınmamaktadır.
- Değerlendirme faktörlerinin doğru seçilememesi, sonucun yanlış çıkmasına neden olabilir.
- Ölçütlerin seçeneklerden bağımsız değerlendirilmesi sorunlara neden olabilmektedir.
- Modelin ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında deneyimli ve uzman kişilere ihtiyaç vardır.

4.3. AHS Adımları

AHS dört adımdan oluşmaktadır. AHS adımları aşağıdaki gibidir (Özbek & Eren, 2012; Saaty, 1994;).

Adım 1 Problemin tanımlanması ve hiyerarşinin oluşturulması: Bu adımda problem tanımlanır. Amaç, ölçütler ve seçenekler belirlenir. Bu adımda uzman görüşleri ve geçmiş deneyimlerden faydalanılır. Daha sonra hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşinin tepesinde amaç yer alır. Bir alt seviyede ölçütler yer alırken en alt seviyede ise seçenekler yer alır.

Adım 2 Ölçütlerin ve seçeneklerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve normalize edilmesi: İkili karşılaştırmalarda öncelikle ölçütler birbirleri ile önem derecelerine göre karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalarda Tablo 1.'de verilen karşılaştırma ölçeği kullanılır. İkili

karşılaştırma matrisinde, örneğin A ölçütü, B ölçütüne göre x kat önemli ise, B ölçütü de A ölçütüne göre $1/x$ kat önemli olmalıdır.

Tablo 1. Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 2008)

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	Her iki ölçüt eşit değerde
3	Biraz önemli	Bir ölçüt diğerine göre daha önemli sayılmıştır
5	Fazla önemli	Bir ölçüt diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok fazla önemli sayılmıştır
9	Son derece önemli	Bir ölçütün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır
2,4,6,8	Ara değerler	

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, matrisin her bir elemanı bulunduğu sütununun toplamına bölünür. Böylece matris normalize edilmiş olur.

Adım 3 Öncelik vektörünün ve tutarlılık oranının hesaplanması: Normalize edilmiş matrisin her bir satırın ortalaması alınır. Bulunan bu değerler önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar öncelik vektörü olarak adlandırılır. Daha sonra yapılmış olan karşılaştırmaların tutarlılık oranları hesaplanır. Tutarlılık oranını hesaplayabilmek için Random İndeks(RI) değerinin bilinmesi gerekir. Her bir matris boyutu n için karşılık gelen RI değeri Tablo 2’de verilmiştir. Matris eleman sayısı arttıkça tutarlılık elde edebilmek zorlaşacağından dolayı RI, boyutu en çok 15 olan matrisler için hesaplanabilmektedir.

Tablo 2. Matrisler için RI Değerleri (Özbek, 2017)

n	RI
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,53
13	1,56
14	1,57
15	1,59

Adım 4 Seçeneklerin sıralanması: Seçeneklerin amaca göre nihai sıralamasını belirlemek için ölçütlerin kendi aralarında ve seçeneklerin ise her bir ölçüte göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak öncelik vektörleri belirlenir. Her bir ölçütün ağırlığı ile seçeneklerin o ölçüte göre olan tercih değerleri çarpılarak her bir seçeneğin ağırlıklı değeri belirlenir. Her bir seçeneğin ağırlıklı değerleri toplanarak o seçeneğin sıralama değeri bulunur. Seçeneklerin sıralama değerleri büyükten küçüğe doğru dizilerek, en uygun seçenek bulunur.

5. TOPSIS

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemi Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Birçok alanda uygulanma imkanı bulmuş olan yöntem pozitif ideal çözüme en kısa mesafede ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan seçeneği bulma temeline dayanmaktadır. Pozitif ideal çözüm maliyet ölçütünün en az, fayda ölçütünün en fazla olduğu çözümdür. Negatif ideal çözüm ise fayda ölçütünün en az maliyet ölçütünün de en fazla olduğu çözümdür. Seçeneklerin pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme olan mesafeleri Öklid uzaklığı yardımıyla hesaplanır. Yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle ölçütler belirlenmelidir ve en az iki seçenek bulunmalıdır. Ölçütlerin ağırlıklarını belirlemek için yöntemde bir uygulama yoktur. Ağırlıkları bulmak için AHS gibi yöntemler kullanılabilir. Yöntemin uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Özbek, 2017).

Adım 1 Karar matrisinin (A) oluşturulması: Seçenekler ve ölçütler belirlendikten sonra satırlarında seçeneklerin, sütunlarında ise ölçütlerin bulunduğu karar matrisi (A) oluşturulur.

Adım 2 Standart karar matrisinin (R) oluşturulması: Karar matrisinin her bir elemanı, bulunduğu sütundaki değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünerek standart karar matrisi (R) elde edilir.

Adım 3 Ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması: Ölçütlere ilişkin ağırlık değerleri ile standart karar matrisinin elemanları çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur.

Adım 4 İdeal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm kümelerinin oluşturulması: İdeal çözümün oluşturulabilmesi için ağırlıklı standart karar matrisindeki ölçütlerin yani sütun değerlerinin en büyükleri seçilir.

Adım 5 Ayırım ölçülerinin hesaplanması: TOPSIS yönteminde her bir seçeneğe ilişkin ölçüt değerinin ideal ve negatif ideal çözüm setinden sapmalarının bulunabilmesi için Öklid uzaklık yaklaşımından faydalanılmaktadır. Buradan elde edilen seçeneklere ait sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) ölçütü olarak adlandırılmaktadır.

Adım 6 İdeal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması: Seçeneklerin ideal çözüme görelî yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılmaktadır. C_i^* , 0 ile 1 arasında bir değer alır. $C_i^* = 1$, i . karar seçeneğinin pozitif ideal çözüm noktasında olduğunu, $C_i^* = 0$ ise karar seçeneğinin pozitif ideal çözüm noktasında olduğunu gösterir.

6. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama kısmında dizel jeneratör seçimi problemi, AHS ve TOPSIS işlem adımları uygulanarak en uygun markanın tercih edilmesi amaçlanmıştır.

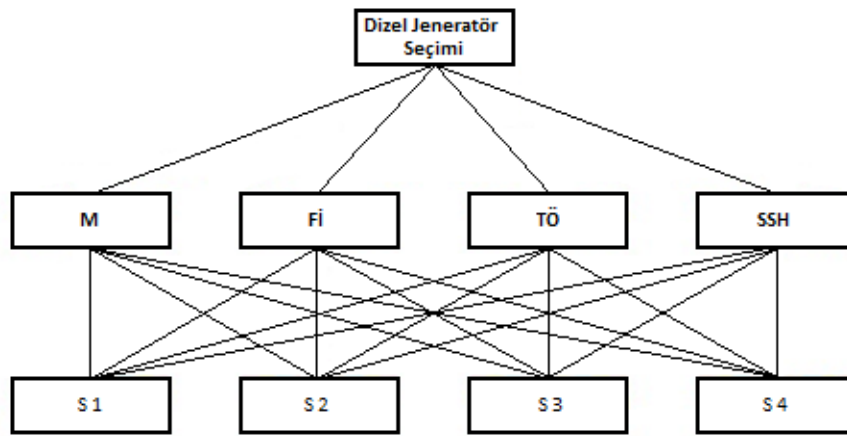
6.1. AHS Yöntemiyle Çözüm Modeli Oluşturulması

Adım 1 Problemin tanımlanması ve hiyerarşinin oluşturulması: Dizel jeneratör seçiminde dikkate alınması uygun olan ölçütler ve uygun dizel jeneratör modelleri; kuruluş temsilcileri, jeneratör firma temsilcileri, jeneratör operatörleri ve jeneratör teknisyenlerinden oluşan 10 kişilik karar verici grup tarafından belirlenmiştir. Bilimsel etik açısından belirlenen jeneratör modellerine ait marka ve model bilgileri bu çalışmada belirtilmemiştir. Seçenekler “Sn” olarak ifade edilmiştir.

Dizel jeneratör seçiminde kullanılmak üzere 4 ölçüt belirlenmiştir. Belirlenen ölçütler aşağıda verilmiştir.

- Maliyet (M): Bu ölçütte jeneratörün ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve bakım maliyeti dikkate alınmıştır. Karar vericilere anket esnasında düşük maliyetin tercih edilen özellik olması gerektiği hatırlatılmıştır.
- Firma İmajı (Fİ): Bu ölçütte firmanın referansları, markanın bilinirliği ile firmanın sahip olduğu yeterlilik ve standart belgeleri dikkate alınmıştır.
- Teknik Özellikler (TÖ): Bu ölçütte ürünün teknik özellikleri, kalitesi, bakım kolaylığı ve ürünlerin arıza yapma oranları dikkate alınmıştır.
- Satış Sonrası Hizmetler (SSH): Bu ölçütte firmanın yetkili servis hizmetleri, yedek parça hizmetleri ve sözleşme ile belirlenebilecek satış sonrası hizmetler dikkate alınmıştır.

Belirlenen ana ve alt ölçütlere ait hiyerarşik yapı şeması Şekil 1’te verilmiştir.



Şekil 1. Hiyerarşik yapı

Adım 2 Ölçütler ile seçeneklerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve normalize edilmesi: Bu adımda belirlenen ölçütler için ve seçeneklerin ölçütlere göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve normalize edilir. İkili karşılaştırmalar, Tablo 1.’de verilen ölçeğe göre yapılmıştır. Matrisler karar vericilerin yaptığı değerlendirmelerin geometrik ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Ölçütlerin ikili karşılaştırılmasında, ölçütlerin birbirlerine göre önem düzeyi belirtilir. Tablo 3’te ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. Buna göre, örneğin teknik özellikler ölçütü, satış sonrası hizmetler ölçütüne göre 1,473 kat daha fazla önemlidir.

Tablo 3. Ölçütlerin İkili Karşılaştırma Matrisi

	M	Fİ	TÖ	SSH
M	1,000	1,578	0,577	1,282
Fİ	0,634	1,000	0,568	1,149
TÖ	1,732	1,762	1,000	1,473
SSH	0,780	0,871	0,679	1,000

Belirlenen ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisi Eşitlik (1) kullanılarak normalize edilir. Buna göre örneğin teknik özellikler ölçütünün bulunduğu sütundaki tüm satırlar ayrı ayrı olarak ilgili sütun toplamına bölünür. Ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisine ait normalize matris, Tablo 4’te verilmiştir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$a'_{11} = \frac{1,000}{1,000 + 0,634 + 1,732 + 0,780} = 0,241$$

Tablo 4. Ölçütlerin İkili Karşılaştırma Normalize Matrisi

	M	Fİ	TÖ	SSH
M	0,241	0,303	0,204	0,261
Fİ	0,153	0,192	0,201	0,234
TÖ	0,418	0,338	0,354	0,300
SSH	0,188	0,167	0,240	0,204

Seçenekler de her bir ölçüte göre ikili olarak karşılaştırılırlar ve normalize edilirler. Seçeneklerin ikili karşılaştırma metrisleri ve normalize metrisleri Tablo 5-12 de verilmiştir.

Tablo 5. M Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Matrisi

M	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	1,000	1,133	0,908	2,600
S 2	0,882	1,000	0,977	2,661
S 3	1,101	1,023	1,000	2,946
S 4	0,385	0,376	0,339	1,000

Tablo 6. M Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Normalize Matrisi

M'	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	0,297	0,321	0,282	0,282
S 2	0,262	0,283	0,303	0,289
S 3	0,327	0,290	0,310	0,320
S 4	0,114	0,106	0,105	0,109

Tablo 7. Fİ Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Matrisi

Fİ	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	1,000	1,406	0,879	2,107
S 2	0,711	1,000	0,867	2,079
S 3	1,138	1,153	1,000	2,298
S 4	0,475	0,481	0,435	1,000

Tablo 8. Fİ Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Normalize Matrisi

Fİ'	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	0,301	0,348	0,276	0,282
S 2	0,214	0,247	0,273	0,278
S 3	0,342	0,285	0,314	0,307
S 4	0,143	0,119	0,137	0,134

Tablo 9. TÖ Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Matrisi

TÖ	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	1,000	1,522	0,887	2,124
S 2	0,657	1,000	0,692	1,974
S 3	1,127	1,445	1,000	2,407
S 4	0,471	0,507	0,415	1,000

Tablo 10. TÖ Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Normalize Matrisi

TÖ'	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	0,307	0,340	0,296	0,283
S 2	0,202	0,224	0,231	0,263
S 3	0,346	0,323	0,334	0,321
S 4	0,145	0,113	0,139	0,133

Tablo 11. SSH Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Matrisi

SSH	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	1,000	1,063	0,755	1,479
S 2	0,940	1,000	0,773	1,728
S 3	1,325	1,294	1,000	2,091
S 4	0,676	0,579	0,478	1,000

Tablo 12. SSH Göre Seçeneklerin İkili Karşılaştırma Normalize Matrisi

SSH'	S 1	S 2	S 3	S 4
S 1	0,254	0,270	0,251	0,235
S 2	0,239	0,254	0,257	0,274
S 3	0,336	0,329	0,333	0,332
S 4	0,172	0,147	0,159	0,159

Adım 3 Öncelik vektörlerinin ve tutarlılık oranlarının hesaplanması: Bu adımda normalize matrislerin öncelik vektörleri Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanır. Buna göre ikili karşılaştırma normalize matrisinin satırlarının aritmetik ortalaması alınarak öncelik vektörü (w) hesaplanır. Örneğin TÖ için öncelik vektörü, Tablo 4.'te verilen matrisin 3. Satırının ortalaması alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$w_3 = \frac{0,418+0,338+0,354+0,300}{4} = 0,353$$

İkili karşılaştırma matrisini oluşturduktan sonra bu karşılaştırma yargısının tutarlı olup olmadığının kontrol edilmesi gerekir. Bunun için “tutarlılık indeksi” (TI) adı verilen katsayının hesaplanması gerekir. TI değeri Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır.

$$TI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

TI değerini hesaplayabilmek için öncelikle, Eşitlik (4) ile özdeğer (λ_{\max}) bulunmalıdır.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} * w_j}{w_i} \right] \quad (4)$$

Özdeğer (λ_{\max}) hesaplamak için, ikili karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörü çarpılarak ağırlıklı toplam vektör ($A*w$) bulunur. Daha sonra ağırlıklı toplam vektörün her bir elemanı öncelik vektörünün aynı elemanına bölünerek her bir değerlendirme ölçütüne ait değer bulunur ve bulunan bu değerlerin ortalaması alınır. İkili karşılaştırma matrisinin tam tutarlı olması ($TO=0$) halinde λ_{\max} , matrisin boyutuna eşit olur (Özbek, 2017).

Özdeğer aşağıdaki işlem adımları ile de hesaplanabilir (Özbek, 2017).

Öncelikle ağırlıklı toplam vektör ($A*w$) Eşitlik (5) ile bulunur. Örnek olarak 2. satırdaki değer, Tablo 3'te verilen Fİ satırı ile Tablo 13'te verilen w sütununa ait değerlerin matris çarpımı yapılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$A \cdot w = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$A*w=(0,634*0,253)+(1,000*0,195)+(0,568*0,353)+(1,049*0,200) = 0,785$$

Daha sonra Eşitlik (6) ile ağırlıklı toplam vektörün ($A*w$) her bir elemanı öncelik vektörünün (w) aynı indisli elemanına bölünerek her bir değerlendirme ölçütüne ilişkin değer (D) elde edilir. Örneğin, Tablo 13'te verilen D sütununun 4. satırı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$d_i = \frac{x_i}{w_i} \quad (6)$$

$$d_4 = \frac{0,806}{0,200} = 4,032$$

Eşitlik (7) ile Tablo 13.'te verilen D sütununun değerlerinin ortalaması alınarak λ_{\max} hesaplanır.

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (7)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{4,040 + 4,024 + 4,050 + 4,032}{4} = 4,037$$

λ_{\max} değeri bulunduktan sonra, Eşitlik (3) ile Tutarlılık indeksi (TI), hesaplanır En son olarak Eşitlik (8) ile Tutarlılık Oranı (TO) hesaplanır. $TO < 0,10$ olması halinde karşılaştırmanın tutarlı olduğu kabul edilir. Aksi halde ise karşılaştırma gözden geçirilerek işlemler tekrarlanır (Özbek, 2017). Tutarlılık İndeksi (TI) aşağıdaki gibi bulunur.

$$TI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$TI = \frac{4,037 - 4}{3} = 0,012$$

Eşitlik (8) ile Tutarlılık Oranı (TO) bulmak için gerekli olan RI değeri Tablo 2'den ($n=4$ için $RI=0,90$) bulunur. TO aşağıdaki gibi bulunur.

$$TO = \frac{TI}{RI} \quad (8)$$

$$TO = \frac{0,012}{0,90} = 0,014$$

Ölçütlerin öncelik vektörü ve tutarlılık oranı Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Ölçütlerin Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranı

	w	A*w	D	λ_{max}	TI	TO
M	0,253	1,020	4,040	4,037	0,012	0,014
Fİ	0,195	0,785	4,024			
TÖ	0,353	1,428	4,050			
SSH	0,200	0,806	4,032			

TO = 0,014 < 0,10 olduğundan karşılaştırma tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Seçeneklerin ölçütlere göre ikili karşılaştırmalarına ait öncelik vektörü ve tutarlılık oranı hesaplamaları aynı şekilde yapılmış ve Tablo 14-17'de verilmiştir.

Tablo 14. M Göre Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranı

	w	A*w	D	λ_{max}	TI	TO
S 1	0,295	1,183	4,004	4,004	0,001	0,002
S 2	0,284	1,139	4,005			
S 3	0,312	1,248	4,004			
S 4	0,109	0,435	4,004			

TO = 0,002 < 0,10 olduğundan karşılaştırma tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Tablo 15. Fİ Göre Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranı

	w	A*w	D	λ_{max}	TI	TO
S 1	0,302	1,212	4,018	4,014	0,005	0,005
S 2	0,253	1,015	4,012			
S 3	0,312	1,253	4,012			
S 4	0,133	0,534	4,012			

TO = 0,005 < 0,10 olduğundan karşılaştırma tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Tablo 16. TÖ Göre Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranı

	w	A*w	D	λ_{max}	TI	TO
S 1	0,307	1,232	4,016	4,011	0,004	0,004
S 2	0,230	0,922	4,010			
S 3	0,331	1,328	4,011			
S 4	0,132	0,531	4,007			

TO = 0,004 < 0,10 olduğundan karşılaştırma tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Tablo 17. SSH Göre Öncelik Vektörü ve Tutarlılık Oranı

	w	A*w	D	λ_{max}	TI	TO
S 1	0,251	1,001	4,004	4,004	0,001	0,001
S 2	0,257	1,025	4,004			
S 3	0,333	1,331	4,004			
S 4	0,159	0,637	4,003			

TO = 0,002 < 0,10 olduğundan karşılaştırma tutarlı olarak kabul edilmektedir.

Adım 4 Seçeneklerin Sıralanması: Ölçütlerin ağırlığı ile seçeneklerin ilgili ölçüte göre ağırlıkları çarpılarak seçeneklerin toplam öncelik değerleri elde edilir ve seçenekler sıralanır. Tablo 18’de seçeneklerin sıralaması verilmiştir.

Tablo 18. Seçeneklerin Sıralanması

Ölçütlerin ağırlıkları	Seçeneklerin ağırlıkları								
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
M	0,253	0,295	0,284	0,312	0,109	0,075	0,072	0,079	0,027
Fİ	0,195	0,302	0,253	0,312	0,133	0,059	0,049	0,061	0,026
TÖ	0,353	0,307	0,230	0,331	0,132	0,108	0,081	0,117	0,047
SSH	0,200	0,252	0,256	0,332	0,159	0,050	0,051	0,066	0,032
Toplam						0,292	0,253	0,323	0,132
Sıralama						2	3	1	4

Tablo 18.de de görüldüğü gibi Seçenek 3 %32 ile en çok tercih edilen jeneratör markası olmuştur. Seçenek 2 % 29 ile ikinci tercih edilen marka jeneratör olurken Seçenek 3 %25 ile 3.tercih edilen marka ve Seçenek 4 ise %13 ile 4. tercih edilen marka olmuştur.

6.2. TOPSIS Yöntemiyle Çözüm Modeli Oluşturulması

Adım 1 Karar matrisinin (A) oluşturulması: TOPSIS yönteminde ilk adım olarak karar matrisi (A) oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında seçenekler, sütunlarında ise ölçütler yer alır. Karar matrisi Tablo 19’da verilmiştir. Karar matrisinde, AHS yöntemiyle oluşturulan çözüm modelinde kullanılan seçenek ve ölçütler kullanılmıştır. Maliyet (M) ölçütü minimizasyon yönlü iken Firma İmajı (Fİ), Teknik Özellikler (TÖ) ve Satış Sonrası Hizmetler (SSH) ölçütleri maksimizasyon yönlüdür.

Tablo 19. Karar Matrisi

	M	Fİ	TÖ	SSH
S 1	5	6	5	6
S 2	6	5	6	5
S 3	6	7	7	7
S 4	7	5	6	4

Adım 2 Standart karar matrisinin (R) oluşturulması: Karar matrisinin her bir elemanı, bulunduğu sütundaki değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünerek standart karar matrisi (R) oluşturulur. Karar matrisi Eşitlik (9) yardımıyla normalize edilir. Standart karar matrisi Tablo 20’de verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (9)$$

Tablo 20. Standart Karar Matrisi

	M	Fİ	TÖ	SSH
S 1	0,414	0,516	0,414	0,535
S 2	0,497	0,430	0,497	0,445
S 3	0,497	0,602	0,579	0,624
S 4	0,579	0,430	0,497	0,356

Örneğin r_{11} değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$r_{ij} = \frac{5}{\sqrt{5^2 + 6^2 + 6^2 + 7^2}} = 0,414$$

Adım 3 Ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması: Bu adımda AHS yöntemi ile belirlenen ve Tablo 21’de verilen ölçüt ağırlıkları (w_i) ile standart karar matrisinin (R) elemanları çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilir. Tablo 22’de ağırlıklı standart karar matrisi (V) verilmiştir.

Tablo 21. Ölçütlerin Ağırlıkları

	M	Fİ	TÖ	SSH
w_i	0,253	0,194	0,353	0,200

Tablo 22. Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

	M	Fİ	TÖ	SSH
S 1	0,105	0,100	0,146	0,107
S 2	0,126	0,083	0,175	0,089
S 3	0,126	0,117	0,205	0,125
S 4	0,147	0,083	0,175	0,071

Örneğin Tablo 22’de verilen v_{12} değeri, Tablo 20’de verilen r_{12} değeri ile Tablo 21’de verilen w_2 değeriyle çarpılarak elde edilmiştir.

$$v_{12} = 0,516 * 0,194 = 0,100$$

Adım 4 İdeal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözüm kümelerinin oluşturulması: Ağırlıklı standart karar matrisinden Pozitif İdeal Çözüm (PİÇ) ve Negatif İdeal Çözüm (NİÇ) olmak üzere iki çözüm kümesi elde edilir. Değerlendirme ölçütleri maksimizasyon yönlü olduğunda PİÇ (A^*), ağırlıklı standart karar matrisinin sütunlarındaki en iyi değerlerden oluşmaktadır. Değerlendirme ölçütleri minimizasyon yönlü olduğunda ise NİÇ (A^-), ağırlıklı standart karar matrisinin sütunlarındaki en kötü değerlerden oluşmaktadır.

Pozitif ideal çözüm seti Eşitlik 10 yardımıyla elde edilir.

$$A^* = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \quad (10)$$

Eşitlik 10 ile oluşturulan pozitif ideal çözüm kümesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\}$$

Negatif ideal çözüm seti Eşitlik 11 yardımıyla elde edilir.

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \quad (11)$$

Eşitlik 11 ile oluşturulan negatif ideal çözüm kümesi aşağıdaki gibi gösterilir.

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$$

Her iki eşitlikte de J fayda (maksimizasyon), J' ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

Eşitlik 10 ve Eşitlik 11 kullanılarak oluşturulan çözüm kümeleri aşağıda verilmiştir.

$$A^* = \{0,105, 0,117, 0,205, 0,125\}$$

$$A^- = \{0,147, 0,083, 0,146, 0,071\}$$

Adım 5 Ayrım ölçülerinin hesaplanması: TOPSIS yönteminde her bir seçenek için pozitif ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal ayırım (S_i^-) adında iki ayırım ölçüsü oluşmaktadır.

Pozitif ideal ayırım ölçüsü (S_i^*) Eşitlik 12 ile hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (12)$$

Negatif ideal ayırım ölçüsü (S_i^-) Eşitlik 13 ile hesaplanır.

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (13)$$

Hesaplanan ayırım ölçüsü değerleri Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Ayrım Ölçüleri

	S^*	S^-
S 1	0,063	0,057
S 2	0,061	0,040
S 3	0,021	0,088
S 4	0,081	0,029

Örneğin S_1^* ve S_4^- değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$S_1^* = \sqrt{(0,105 - 0,105)^2 + (0,100 - 0,117)^2 + (0,146 - 0,205)^2 + (0,107 - 0,125)^2}$$

$$= 0,063$$

$$S_4^- = \sqrt{(0,147 - 0,147)^2 + (0,083 - 0,083)^2 + (0,175 - 0,146)^2 + (0,071 - 0,071)^2}$$

$$= 0,029$$

Adım 6 İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması: S_i^* ve S_i^- ayırım ölçülerinden yararlanılarak her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığı C_i^* Eşitlik 14 ile hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (14)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

İdeal çözüme göre yakınlık değerleri ve sıralamaları Tablo 24'te verilmiştir. Örnek olarak C_3^* değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C_{i3}^* = \frac{S_3^-}{S_3^- - S_4^*} = \frac{0,088}{0,088 - 0,021} = 0,809$$

Tablo 24. İdeal Çözüme Göre Yakınlık Değerleri ve Sıralamaları

	Değer	Sıralama
C_1^*	0,476	2
C_2^*	0,398	3
C_3^*	0,809	1
C_4^*	0,265	4

Tablo 24 incelendiğinde S3 olarak ifade edilen dizel jeneratörün en uygun seçenek olduğu görülmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri olan AHS ve TOPSIS ile dizel jeneratör seçimi yapılmıştır. Karar probleminin amacı uygun dizel jeneratörün seçimidir. Seçim 4 ölçüte göre 4 dizel jeneratör arasından yapılmıştır. Dizel jeneratörlerin marka ve modeline karar verilirken yerli üretim olmasına ve piyasada en fazla bilinen ürünler olmasına dikkat edilmiştir.

TOPSIS yöntemi karmaşık algoritmalar ve matematiksel modeller içermemektedir. Kullanım kolaylığı, sonuçların yorumlanmasının kolay olması ve kolay anlaşılması gibi nedenlerle birçok alanda kullanılmaktadır. AHS, kişilerin deneyimlerini ve düşüncelerini karar verme sürecine dahil etmesine imkan veren bir tekniktir. Karar vericilerin değişmesi halinde ölçütlerin ve ağırlıklarının değişmesi söz konusu olabilir. Aynı şekilde seçenekler ve önem dereceleri de karar vericilerin bireysel tercihlerini yansıtmaktadır. Dolayısı ile karar verici değiştiğinde bu unsurlarında değişmesi olasıdır.

Dizel jeneratörler belirli standartlara uygun olarak üretilmek durumunda olduklarından dolayı nicel özellikler arasındaki farklar göz ardı edilebilecek kadar azdır. Ancak göreceli özellikler, kişilerin tecrübelerine ve değerlendirmelerine göre puanlandırılmıştır.

Jeneratör seçim problemi için AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak çözüm modelleri geliştirilmiştir. AHS yöntemi ile oluşturulan modelde öncelikle problem tanımlanmış ve uzman yardımı ile satın alınacak dizel jeneratörün gücü 1000 KVA olarak belirlenmiştir. Daha sonra piyasa araştırması yapılarak dizel jeneratör fiyatları ve modelleri arasından 4 adet seçenek oluşturulmuştur. Jeneratör teknisyeni, jeneratör operatörü, jeneratör firması temsilcisi ve kuruluş temsilcilerinden oluşan 10 kişilik bir grup ile ölçütler belirlenmiştir. AHS işlem adımları uygulanması sonucunda, S 3 olarak temsil edilen dizel jeneratör 1. öncelikli olarak bulunmuştur.

Dizel jeneratör seçimi için TOPSIS yöntemi ile kurulan modelde, AHS ile oluşturulan modeldeki ölçüt, seçenek ve ağırlıklar kullanılmıştır. TOPSIS işlem adımları uygulanması sonucunda, S 3 olarak temsil edilen dizel jeneratör 1. öncelikli olarak tercih edilmiştir. Yöntem ile oluşturulan modelin sonuçları AHS modeli ile uyumlu olarak bulunmuştur. Her iki yöntemle göre bulunan sıralama sonuçları Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. AHS ve TOPSIS Yöntemlerine Göre Seçeneklerin Sıralama Sonuçları

	AHS	TOPSIS
S 1	2	2
S 2	3	3
S 3	1	1
S 4	4	4

Tablo 25'te de görüldüğü gibi her iki yöntemin sonucunda seçeneklerin sıralamaları aynı bulunmuştur. Çalışma dizel jeneratör seçimi için bir model oluşturularak literatüre ve sektöre katkı sağlamak amacı ile yapılmıştır. Bulunan sonuçlar çalışmadaki karar vericilerin belirlediği ölçüt ve seçeneklere göre oluşmuştur. Müteakip çalışmalarda diğer karar verme yöntemleri hatta farklı ölçüt ve seçenekler kullanılarak çözüm modelleri geliştirilebilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada kullanılan verilerin temini için Sayın Ömer KÜÇÜKTEMEL'e; veri toplama, kaynak yardımı, analiz ve yorumlama konusunda katkı sağlayan Doç. Dr. Sayın Berk AYVAZ'a 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

- Aydın, G. (2008). *Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve bir sanayi işletmesinde uygulanması* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kocaeli.
- Aytekin, A. ve Kuvat, O. (2018). Dizüstü bilgisayar seçiminde değerlendirilen kriterlerin önem düzeylerinin AHP ile belirlenmesi: 1. ve 2. sınıf bilgisayar mühendisliği öğrencileri uygulaması. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 7(4), 193-211.
- Banuelas, R. ve Antony J. (2004). Modified Analytic Hierarchy Process to incorporate uncertainty and managerial aspects. *International Journal of Production Research*. 42(18), 3851-3872.
- Byun, D-H. (2001). The AHP approach for selecting an automobile purchase model, *Information & Management*. 38, 289-297.
- Güngör, İ. ve Didar Büyüker, İ. (2005). Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile otomobil seçimi, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*. 21-33.
- Hasnain, S., Ali, M K., Akhter, J., Ahmed, B. ve Abbas, N. (2020). Selection of an industrial Boiler for a soda-ash production plant using Analytical Hierarchy Process and TOPSIS approaches. *Case Studies in Thermal Engineering*. 19, 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100636>

- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. *International Journal of Production Economics*. 87(2), 171-184.
- Karabacak, G. (2011). *Analitik Hiyerarşi Prosesi ile topçulukta mühimmat seçimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Karim, R. ve Karmaker, C. L. (2016). Machine selection by AHP and TOPSIS methods. *American Journal of Industrial Engineering*. 4(1), 7-13.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve işletmecilik alanındaki uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 1, 83-105.
- Kurşunoğlu, N. ve Önder, M. (2015). Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 48, 101-109.
- Özbek, A. (2017). Çok kriterli karar verme yöntemleri ve excel ile problem çözümü. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Özbek, A. ve Eren, T. (2012). Üçüncü Parti Lojistik (3PL) firmanın Analitik Hiyerarşi Süreciyle (AHS) belirlenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*. 4(2), 46-54.
- Phogat, M.V.S. ve Singh, A.P. (2013). Selection of Equipment for Constructio of a Hilly Road using Multi Criteria Approach, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 104, 282 – 291.
- Saaty, T.L. (1994). Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytical Hierarchy Process. *RWS Publications*, Pittsburg.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*. 1(1), 83-86.
- Uzun, S., (2015). *Gemi inşa sürecinde ana makine ve jeneratör seçimi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi]. Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Kocaeli.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

ISPARTA İLİNDE BULUNAN BİR KAMU KURULUŞUNA AHP VE TOPSIS YÖNTEMLERİNİ KULLANARAK MASAÜSTÜ BİLGİSAYAR SEÇİMİ*

DESKTOP COMPUTER SELECTION FOR A PUBLIC ORGANIZATION IN ISPARTA BY
USING AHP AND TOPSIS METHODS

Yılmaz DOĞAN¹

Oğuz BORAT²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ylmz1956@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
16.01.2021

Kabul Tarihi / Accepted
21.02.2021

Öz

Bu çalışmada Isparta ilinde bulunan bir kamu kuruluşunda kullanılmak maksadıyla masaüstü bilgisayar seçimi problemi ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri bir arada kullanılmış ve kurum için en ideal bilgisayar seçiminin yapılması amacıyla uygulanmıştır. Literatür incelendiğinde ve uzman personel ile yapılan görüşmeler neticesinde işlemci hızı, ram kapasitesi, garanti süresi, sabit disk kapasitesi, maliyet ve Isparta ilindeki servis ağı sayısı olmak üzere toplam 6 kriter tanımlanmıştır. AHP yöntemi kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, TOPSIS yöntemi ise alternatiflerin sıralanması amacı ile kullanılmıştır. AHP ve TOPSIS yöntemlerinin aşamaları MS Excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda belirlenen alternatifler arasından en ideal masaüstü bilgisayar seçilmiştir.

Anahtar kelimeler: AHP, TOPSIS, bilgisayar seçimi, çok kriterli karar verme.

Abstract

In this study, the problem of choosing a desktop computer for use in a public institution in Isparta is discussed. AHP and TOPSIS methods, which are among the multi-criteria decision making methods, were used together and were applied to select the most ideal computer for the institution. When the literature was examined and as a result of interviews with expert personnel, a total of 6 criteria were defined: processor speed, ram capacity, warranty period, hard disk capacity, cost and the number of service networks in Isparta. The AHP method was used to determine the weights of the criteria, while the TOPSIS method was used to rank the alternatives. The phases of AHP and TOPSIS methods were calculated using MS Excel program. The most ideal desktop computer was chosen among the alternatives determined at the end of the study.

Keywords: AHP, TOPSIS, computer selection, multi-criteria decision making.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
ylmz1956@hotmail.com, Orcid.org/0000-0003-4259-4233.

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

1.GİRİŞ

Bilgisayarlar günümüz çalışma hayatında vazgeçilemez bir teknolojik aracı haline gelmişlerdir. Türkiye’de bilgisayar kullanımı; iş ve kişisel kullanım göz önünde bulundurulduğunda, ülke nüfusuna eşdeğer sayıda bilgisayar kullanıldığı söylenebilir. Devlet kurumlarında ve özel sektör işletmelerinde bilgisayar sistemlerinin kullanılması son yıllarda büyük önem taşımaya başlamıştır. Verilerin aranmasında ve saklanmasında, tablo ve grafiklerin oluşturulmasında, resim ve videoların düzenlenmesi gibi birçok konu ve alanda bizlere kolaylık sağlamaktadırlar. Ayrıca karmaşık ve uzun hesaplamaların kısa süre içerisinde hatasız bir şekilde yapılması da bilgisayarlara olan talebin artmasında etkin rol oynamaktadır.

Çok kriterli karar verme yöntemleri; karar problemlerinde birden çok ve birbirleri ile çelişmekte olan alternatifler arasından en ideal olanının seçilebilmesi, sıralandırılması ve sınıflandırılması amacı ile kullanılan sayısal yöntemler olarak ifade edilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin temel maksadı ise karar verici için en ideal alternatifin belirlenmesidir (Guitouni & Martel 1998).

Seçim problemlerinde kullanılacak kriterler ve kriterlerin ağırlıkları, seçim sürecinde üzerinde durulması gereken ana problemlerin ilk aşaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirlenen kararlar çoğunlukla karmaşık bir yapıya sahiptir ve belirsiz bir ortamda verilir. Karar vericiler birbiriyle çelişmekte olan kriterleri eş zamanlı olarak incelemek zorunda kalabilirler. Kesin sayılar kullanılarak alternatifler arasından seçim yapılmasında zorluk yaşanabilir. Bu durumda devreye Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanılması girmektedir. Bu yöntemin kullanılmasıyla belirsizlik karşısında karar vericiye destek vererek, karar verme problemini çözmesinde yardımcı olmaktadır (Öztürk ve ark., 2020).

Literatürde, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar fiziksel alt yapı, donanım, insan kaynakları, lojistik, turizm, vb. birçok alanla ilgilidir. Örnek olarak karar verme kriterleri uzman personel görüşleri ile belirlenen bir çalışmada ders kitabı yazar bir yazar için basımevi seçimi problemi ele alınmıştır (Geyik ve ark., 2016). Bir diğer çalışmada belediyeye çimento blokları dağıtan bir şirkete taşıt seçmek maksadıyla 4 adet kriter AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırma yapılmış ve motorlu treylerin en uygun taşıt olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (Bula ve ark., 2018). Gene AHP yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada turizm sektörünün en hızlı ve en kazançlı alanlarından birisi olan kongre sektörü için 5 kriter göz önüne alınarak kongre alanı için yer seçimi yapmıştır (Chen, 2006). Bu çalışmalara paralel olarak 30 adet tedarikçi arasından, AHP yöntemi ile 4 adet kriterin ağırlıkları hesaplanarak, TOPSIS yöntemi vasıtasıyla sıralandırma yapılmış ve sonucunda tedarikçi seçimi yapmışlardır (Wangchen Bhutia ve ark., 2012). Yapılan bir başka çalışmada ise yerel bir kimya şirketine yönetici pozisyonunda personeli işe almak için uzman personel görüşlerince belirlenen kriterler kullanılarak 17 personel arasından yönetici pozisyonunda personel seçimi yapılmıştır (Shih ve ark., 2006). Farklı bir örnekte ise İran’da faaliyet gösteren bir firmaya AHP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılarak proje yöneticisi seçimi yapılmıştır (Torfi & Rashidi, 2011). Diğer bir örnekte ise, Bulanık Multimoora ile Personel Seçimi: Havacılık Sektöründe Bir Uygulama adlı çalışmada MULTIMOORA yöntemi vasıtasıyla işletmelerin insan kaynağına personel seçimi problemi yapmışlardır. Havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletme kendisine en uygun personelin seçilmesini amaçlamıştır. Elde edilen sonuçları test etmek ve kullanılan yöntemin kullanılabilirliğini karşılaştırmak maksadıyla insan kaynaklarına alınacak olan personel adayları bütünsel AHP-TOPSIS yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Uygulama neticesinde Bütünsel AHP-TOPSIS ve MULTIMOORA yöntemlerinin aynı sonucu verdiği sonucuna varılmıştır. (Kuşakçı

ve ark., 2019). Bu çalışmalar doğrultusunda yapılan bir diğer uygulamada ise, PROMETHEE yöntemini kullanarak İstanbul ilinde depremde en fazla etkileneceği değerlendirilen Küçükçekmece ilçesinde bulunan, yetkili kurumlarca belirlenmiş 43 afet sonrası toplanma alanının, uzman personel tarafından belirlenmiş 7 kriter açısından değerlendirilmesi yapılmıştır (Öztürk ve ark., 2020). Farklı bir çalışmada ise, İstanbul'un güneyinde, Marmara denizine kıyısı olan ve depremde en fazla etkilenmesi beklenen ilçelerinden birisi olan Küçükçekmece'deki toplanma alanları, çeşitli kriterler kullanılarak sıralanmıştır. Çalışmada, sıralama işlemi için çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır (Öztürk & Ünver, 2020). Yine benzer bir çalışmada, tüketiciler için en uygun otomobili seçmek için Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılmış ve zenginleştirme değerlendirmesi için ise PROMETHEE yöntemi kullanılmaktadır. AHP yöntemi her bir kritere ağırlık atamak için kullanılmıştır. Her bir kriterin önemini değerlendirmek için çalışmaya üç alanında uzman personel katılmıştır. PROMETHEE yöntemi ile yedi alternatifin dokuz kriter altında sıralanması sağlanmıştır. Bu çalışma, otomobil seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımına ilişkin bir fikir vermektedir (Öztürk, 2020). Bir diğer uygulamada ise; literatür taraması sonucunda belirlenmiş olan 7 kriter, firmanın Tedarik Zinciri, Kalite ve Uygulama birimlerinde görev yapmakta olan personel tarafından önem dereceleri belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları AHP yöntemi vasıtasıyla belirlenmiş olup, ağırlık katsayıları belirlenmiş kriterler kullanılarak alternatifler TOPSİS yöntemi ile sıralanmıştır. Uygulama sonucunda T1 adı verilen alternatifin en uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Ak Oğuz, 2018). Son olarak konut seçimi yapılan bu uygulamada, uzman görüşlerinin alınması sonucunda belirlenmiş olan 8 kriter, uzman görüşleri ve AHP yöntemi ile ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıyla birbirlerine göre önem dereceleri belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları AHP yöntemi vasıtasıyla belirlenmiş olup, ağırlık katsayılı kriterler kullanılarak alternatifler TOPSİS yöntemi ile sıralanmıştır. Uygulama sonucunda S1 adı verilen konutun en uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Alkan ve ark., 2020).

Bu uygulamada bir kamu kuruluşunda kullanılmak üzere masa üstü bilgisayar seçimi yapılmıştır. Bilgisayar alternatifleri arasından seçim yapılırken çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSİS yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmanın genel olarak şu başlıkları içermektedir; ikinci bölümünde AHP ve TOPSİS yöntemleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde AHP ve TOPSİS yöntemlerinin kullanılması ile masa üstü bilgisayar seçilmesi uygulaması yer almaktadır. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonucu analiz edilmiş, müteakiben öneriler sunulmuştur.

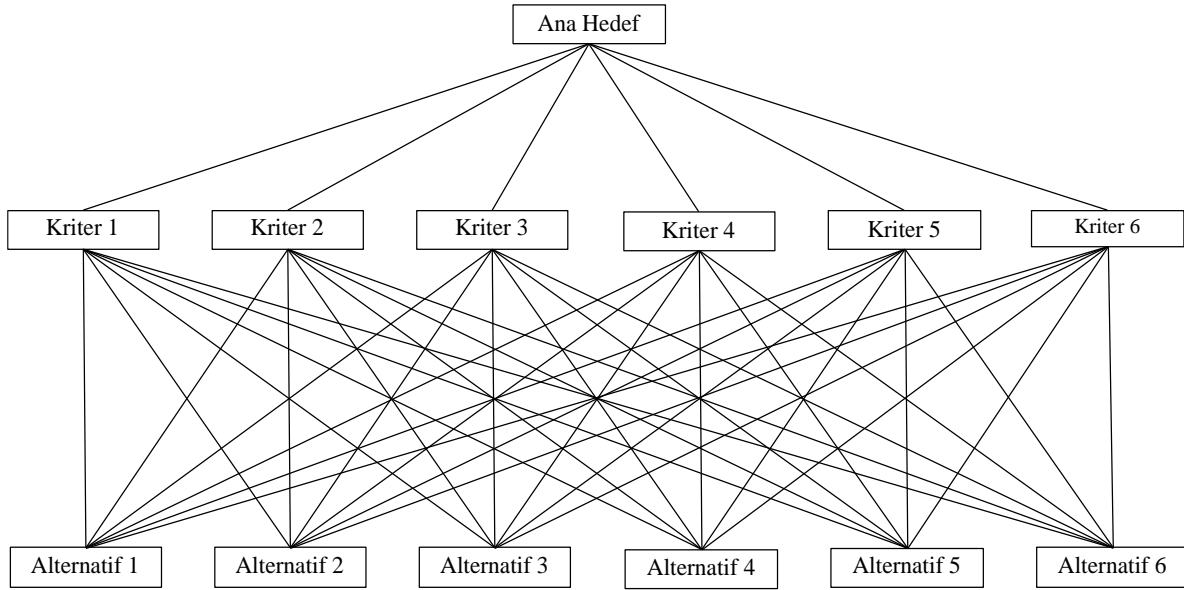
2. AHP VE TOPSİS YÖNTEMLERİ

2.1. AHP Yöntemi

Karar verme; farklı miktarlarda kriterin ve karar alıcıların beklentilerine bağlı olarak ideal çözümün elde edilebilmesi için alternatiflerin tanımlanarak seçilmesi sürecidir. Kararlar mevcut bilgi, alternatifler, değerler ve tercihlerin toplandığı bir ortamda alınmaktadır. (Aytaç ve ark., 2015) Yöneticilerin karar verme sürecinde uygun ve güvenli tahminlere ihtiyaçları vardır. Bunu sağlamak için ise bilimsel kriterleri göz önünde bulundurmaları, alınacak kararın en ideal olması için son derece önemlidir. Karar vermenin temel sorunu ise; kriterler arasından bir tanesinin ya da tek bir ölçütün baz alınması olarak ifade edilebilir. Karar verme süreci en basit haliyle belirlenen kriterler arasından tercih yapmak olarak da açıklanabilmektedir (Çelik ve ark., 2016). AHP yöntemini 4 adımda tanımlanmış olup, aşağıda anlatıldığı gibidir;

Adım 1: İlk adım hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Hiyerarşik yapı oluşturulur iken ilk adım karar probleminin belirlenmesidir. Dikkat edilmesi gereken husus ise belirlenen problemin AHP

yöntemine uygun olması gerekmektedir. Amaç, (Ana Hedef) AHP hiyerarşisinin en üstünde yer almaktadır. Orta seviyede kriter ve var ise alt kriterler, en alt seviyede ise alternatifler yer almaktadır (Arıbaş & Özcan, 2016). AHP yöntemine örnek bir hiyerarşik yapı aşağıdaki Şekil 1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Hiyerarşik Yapı

Adım 2: Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonra aynı hiyerarşi seviyesinde bulunan her bir kritere önem derecesi tahsis edilerek matris oluşturulur. Önem derecesi verilirken Saaty tarafından bulunan standart tercih tablosu kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma yapılırken ise gene Saaty tarafından bulunan ölçeklendirme tablosu kullanılarak karar verme noktaları oluşturulur. Kriterlere ait ikili karşılaştırmalar aşağıda bulunan Tablo 1’de gösterilmektedir;

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Matrisi

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter ...	Kriter n
Kriter 1	$w_{11}/w_{11} = 1$	$a_{12} = w_1/w_2$	...	$a_{n1} = w_1/w_n$
Kriter 2	$a_{21} = w_{11}/w_{11}$	$a_{22} = w_2/w_2$	...	$a_{n2} = w_2/w_n$
Kriter ...	...	...	...	...
Kriter n	$a_{n1} = w_n/w_1$	$a_{n2} = w_n/w_2$	...	$a_{nn} = 1$

Adım 3: İkili karşılaştırma matrisinden sonra öz vektörün belirlenmesi sağlanır. Matriste bulunan ikili karşılaştırmalar neticesinde her bir kriter için ağırlık değeri elde edilir. Kriterlerin ağırlıkları hesaplanırken karşılaştırma matrisindeki sütun vektörlerinden faydalanılır ve n adet n bileşenli B sütun vektörü oluşturulur.

$$B_1 = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix}$$

Yukarıda bulunan B sütun vektörü oluşturulurken aşağıda bulunan formül kullanılmaktadır;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Elde edilen B sütun vektörlerinin bir araya gelmesiyle normalleştirilmiş C matrisi oluşturulmaktadır.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

Daha sonra elde edilen C matrisinden faydalanılarak kriterlerin yüzdelik olarak önem değerleri bulunmaktadır. C matrisinde bulunan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak öncelik vektörünü ifade eden W sütun vektörü bulunur.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n}$$

Son olarak öncelik vektörlerinin hesaplanması için her bir sütun değerinin ilgili sütun değeri toplamına bölünmesiyle oluşturulur. Satır değerlerinin ortalamasının alınmasıyla, kriterlerin öz vektörleri bulunur. (Demirci, 2013).

Adım 4: Müteakiben bulunan öz vektörlerin tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Tutarlılık oranı 0,1'den büyük olduğu durumlarda ikili karşılaştırmaların tutarsız olduğunu göstermektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğu durumlarda karşılaştırmaların tekrardan ele alınarak hesaplanması gerekmektedir (Arıbaş & Özcan, 2016).

AHP yönteminde tutarlılık oranı olan CR (Consistency index)'in öz değeri “ λ ” ile hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı “W” ile ifade edilen ağırlık matrisi ile “C” ile ifade edilmekte olan karşılaştırma matrisinin çarpımı ile elde edilen “K” sütun matrisi kullanılarak yapılır. “K” matrisinin hesaplanması aşağıdaki gibidir;

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = K$$

Yukarıda belirtilen matrislerin çarpımı sonucunda elde edilen “K” sütun matrisinin “W” matrisine oranı, her bir faktörün öz değerini vermektedir. Elde edilen bu değerlerin kümesini “T” harfi ile sembolize ettiğimizde ise;

$$T = \frac{d_i}{w_i} (i = 1, 2, \dots, n)$$

Yukarıda bulunan formül ile elde ettiğimiz değerlerin aritmetik ortalamasını alarak “ λ ” hesaplanmaktadır;

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^n T}{n}$$

Daha sonra tutarlılık endeksi olan CI (Consistency Index) ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

CI (Consistency Index)' nin rassallık endeksi RI (Random Index) ile tutarlılık oranı olan CR değeri aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır;

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

CR < 0,10 koşulu sağlanmalıdır. Bu koşul sağlanamadığında yeni değerler atanmalıdır. Rassal tutarlılık endeksi aşağıda bulunan Tablo 2'de gösterilmektedir; (Ömürbek & Şimşek, 2014)

Tablo 2. Rassallık Göstergeleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

2.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) arasında çoğunlukla tercih edilen bir yöntem olarak kullanılmaktadır. (Zavadskas, 2016) Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan TOPSIS yönteminin uygulama kolaylığı ve temelinde mesafe ölçümü kavramının bulunmasından, TOPSIS yöntemini önemli ve tercih edilebilir bir yöntem olmasını sağlamaktadır (Shyur & Shih, 2007). TOPSIS yöntemi 6 adımda tanımlanmış olup, aşağıda anlatıldığı gibidir;

Adım 1: TOPSIS yönteminde birinci aşama karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisinde üstünlükleri sıralamak amacıyla karar noktaları satırlarda, karar verme aşamasında kullanılmak amacıyla sütunlarda kriterler gösterilmektedir. Aşağıda bulunan karar matrisinde; m karar nokta sayısını, n ise değerlendirme kriter sayısını ifade etmektedir. (Ömürbek ve ark., 2015)

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 2: A matrisinin kriterlerinden faydalanılarak aşağıda bulunan formül kullanılarak standart karar matrisi hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (a_{kj})^2}}$$

Aşağıda belirtilen “r” matrisi elde edilir:

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3: Değerlendirme faktörlerinin ağırlık değerleri (w_j) belirlenir. Daha sonra R matrisinin her bir sütunundaki değerler, ağırlık değeri (w_j) ile çarpılır ve böylelikle V matrisi oluşturulur. Aşağıda gösterilmekte olan V matrisi elde edilir:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \cdots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \cdots & w_n r_{2n} \\ w_1 r_{31} & w_2 r_{32} & \cdots & w_n r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

Kriterlerin ağırlıkları W_1, W_2, \dots, W_n olarak belirlenir. R matrisinin sütun değerleri, ilgili kriterin ağırlık değeri ile çarpılarak elde edilen sonuç ile ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur (Orçun & Eren, 2017).

Adım 4: Ağırlıklı karar matrisinin elde edilmesinden sonra ideal ve negatif ideal çözümler oluşturulur.

TOPSIS yöntemine göre, her bir değerlendirme faktörünün monoton azalan veya artan eğilime sahiptir. İdeal çözüm kümesinin oluşabilmesi V matrisinde bulunan değerlendirme faktörlerinin en büyüğü seçilir. Ancak değerlendirme faktörü minimizasyon eğilimli ise V matrisinde bulunan değerlendirme faktörlerinin en küçük değerli olanı seçilir. İdeal çözüm kümesinin maksimum ve minimum değerlerinin bulunması aşağıdaki formülde ayrı ayrı gösterilmiştir (Özer, 2010).

$$A^+ = \left\{ \max_i v_{ij} \mid j \in J \right\}, \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \quad \text{Pozitif ideal çözüm kümesi formülü}$$

$$A^- = \left\{ \min_i v_{ij} \mid j \in J \right\}, \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \quad \text{Negatif ideal çözüm kümesi formülü}$$

Formüllerde kullanılan J ve J' değerleri;

J: Fayda değerini

J': Kayıp değerini ifade etmektedir.

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij})^2}} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k$$

$$X_{ij} = w_i \cdot z_{ij} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, k$$

Adım 5: Her bir seçeneğin pozitif ideal çözüme olan uzaklığı (S_i^+) ve negatif ideal çözüme olan uzaklığı (S_i^-) aşağıda bulunan formüller vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Euclidian uzaklık yaklaşımından faydalanılarak hesaplama yapılmaktadır (Alp & Engin, 2011). Kullanılan formül aşağıdaki gibidir;

$$S_i^+ = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^+)^2$$

$$S_i^- = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^-)^2$$

Adım 6: Her bir seçeneğin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları tespit edildikten sonra seçeneklerin puanı ve bu puana bağlı olarak sıralaması da aşağıda bulunan formül yardımıyla bulunur. Her bir seçenek için elde edilen sonuç ise büyükten küçüğe doğru sıralanır (Sakarya & Aksu, 2020).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- - S_i^*} (0 \leq c_i^* \leq 1 \text{ ve } i = 1, 2, \dots, n)$$

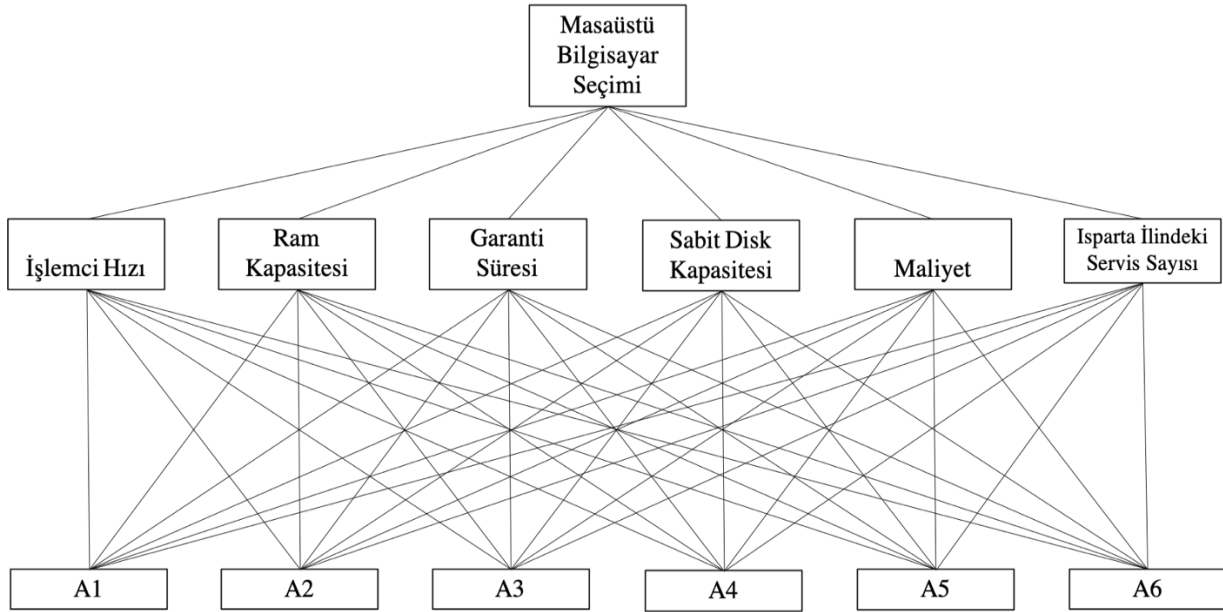
3. UYGULAMA

Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak Isparta ilinde bulunan bir kamu kuruluşunda kullanılmak üzere masaüstü bilgisayar seçimi yapılmıştır. Uygulamada kullanılan kriterler kamu kurumunda halen aktif olarak görev yapmakta olan uzman kişilere danışılarak belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi için kamu kurumunda masaüstü bilgisayar kullanan 49 kişiye, standart tercih tablosu puanlama sistemini kullanılarak anket uygulanmıştır. Anket sonucunda ikili karşılaştırmalar ile her bir kriterin ağırlık kat sayılarının belirlenmesinde Microsoft Ofis Excel programından yararlanılmıştır. Uygulamanın adımları sırası ile aşağıda belirtilmiştir.

3.1. AHP Yönteminin Uygulanması

3.1.1. Hiyerarşik yapının oluşturulması

Uygulamada kullanılacak kriterlerin belirlenmesi için kurumda aktif olarak görev yapmakta olan uzman personel ile yapılan görüşmeler sonucunda masaüstü bilgisayar seçiminde kullanılacak kriterler: işlemci hızı, ram kapasitesi, garanti süresi, sabit disk kapasitesi, maliyet ve Isparta ilinde bulunan servis ağı sayısı olarak belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesi sonunda oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Masüstü Bilgisayar Seçimi Hiyerarşi Yapısı

3.1.2. Önceliklerin belirlenmesi

Tablo 3. Standart Tercih Tablosu

Standart Tercih Tablosu	
Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Isparta ilinde bulunan kamu kuruluşunda çalışan 49 personele uzman kişilerce belirlenen kriterler, Tablo 3’de belirtilmiş olan standart tercih tablosu verileri kullanılarak anket uygulanmış olup, yapılan anket sonucuna göre kriterlere verilen puanlamaların ortalaması Tablo 4’de görüldüğü gibidir.

Tablo 4. Puanlama Ortalama Tablosu

İşlemci Hızı	9
Ram Kapasitesi	8
Garanti Süresi	7
Sabit Disk Kapasitesi	5
Maliyet	3
Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	1

3.1.3. İkili karşılaştırmaların yapılarak önem derecelerinin belirlenmesi

Tablo 5. Kriterlerin Önem Derecelerinin İkili Karşılaştırma Yöntemi ile Belirlenmesi

	İşlemci Hızı	Ram Kapasitesi	Garanti Süresi	Sabit Disk Kapasitesi	Maliyet	Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı
İşlemci Hızı	1,00	3,00	5,00	7,00	8,00	9,00
Ram Kapasitesi	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00	8,00
Garanti Süresi	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
Sabit Disk Kapasitesi	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
Maliyet	0,13	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	0,11	0,13	0,14	0,20	0,33	1,00
TOPLAM	1,91	4,80	9,68	16,53	24,33	33,00

Yukarıdaki Tablo 5 'te bulunan ikili karşılaştırma matrisinde kriter üstünlükleri anket neticesinde yapılan üstünlük puan tablosuna göre yapılmıştır. İkili karşılaştırma matrisinde her bir kriter diğerlerine göre karşılaştırılıp birbirlerine karşı üstünlük değerleri belirlenmiştir.

3.1.4. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve tutarlılık oranının hesaplanması

Tablo 6. Kriterlerin Ağırlıklarının Belirlenmesi

	İşlemci Hızı	Ram Kapasitesi	Garanti Süresi	Sabit Disk Kapasitesi	Maliyet	Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	Kriter Ağırlıkları
İşlemci Hızı	0,5229	0,6248	0,5167	0,4234	0,3288	0,2727	0,4482
Ram Kapasitesi	0,1743	0,2083	0,3100	0,3024	0,2877	0,2424	0,2542
Garanti Süresi	0,1046	0,07	0,1033	0,1815	0,2055	0,2121	0,1461
Sabit Disk Kapasitesi	0,0747	0,0417	0,0000	0,0605	0,1233	0,1515	0,0753
Maliyet	0,0654	0,0298	0,0207	0,0202	0,0411	0,0909	0,0447
Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	0,0581	0,0260	0,0148	0,0121	0,0137	0,0303	0,0258

Yapılan ikili karşılaştırmalardan sonra, alternatifler arasından seçim yapılabilmesi için kriterler arasındaki önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kriter ağırlıkları belirlenirken MS Excel programında hazırlanan tablo ve formülasyonlar kullanılmıştır. Kriter ağırlıkları tablo 6'da belirtildiği gibidir. Yapılan çalışmalarda hataların tespit edilerek düzeltilmesi için kontrol mekanizması olarak tutarlılık oranını kullanılmaktadır.

Diğer bir adımda ise elde ettiğimiz kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma kümelerinin tutarlılık oranları hesaplamamız gerekmektedir. Bu hesaplama yapılırken Tablo 6'da bulunan her bir değer, kendi kriter ağırlığı ile çarpılır ve elde edilen aynı satırdaki değerler toplanır. Elde edilen sonuçlara ilişkin değerler Tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7. İkili Karşılaştırma ve Kriter Ağırlıklarının Tutarlılığının Belirlenmesi

	İşlemci Hızı	Ram Kapasitesi	Garanti Süresi	Sabit Disk Kapasitesi	Maliyet	Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	Toplam
İşlemci Hızı	0,4482	0,7626	0,7303	0,5269	0,3573	0,2325	3,0578
Ram Kapasitesi	0,1494	0,2542	0,4382	0,3764	0,3126	0,2067	1,7375
Garanti Süresi	0,0896	0,0847	0,1461	0,2258	0,2233	0,1808	0,9504
Sabit Disk Kapasitesi	0,0640	0,0508	0,0487	0,0753	0,1340	0,1292	0,5020
Maliyet	0,0560	0,0363	0,0292	0,0251	0,0447	0,0775	0,2688
Isparta İlindeki Servis Ağı Sayısı	0,0498	0,0318	0,0209	0,0151	0,0149	0,0258	0,1582

Son adım olarak, toplam hanesinde bulunan kriter değerini kriterin ağırlığına bölünerek her bir kriterin öz değerini (λ) hesaplarız. Belirlenmiş olan 6 kriter için elde edilen öz değerlerin ortalaması (λ) alınır ve $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$ formülü kullanılarak tutarlılık endeksi (Consistency Index) hesaplanır. Tutarlılık endeksinin (Consistency Index) hesaplanmasından sonra $CR = \frac{CI}{RI}$ formülü kullanılarak tutarlılık oranı bulunur. $CR < 0,10$ koşulunun sağlanması kontrol edilir. Bu durumun sağlanmadığı durumlarda ise yeni değerler atanmalıdır. Tablo 8’de tutarlılık oranının hesaplanması gösterilmiştir.

Tablo 8. Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Toplam		Kriter Ağırlıkları	T/K	Ortalama (λ)	Consistency Index	Tutarlılık Oranı
3,0578	÷	0,4483	6,8205	6,4948	0,0990	0,0790
1,7375		0,2542	6,8337			
0,9504		0,1460	6,5106			
0,5020		0,0753	6,6681			
0,2688		0,0445	6,0363			
0,1582		0,0259	6,0998			

3.2. TOPSIS Yönteminin Uygulanışı

TOPSIS yönteminde il adım olarak karar matrisi oluşturulmaktadır. Uygulamaya ait karar matrisi tablo 9’da belirtildiği gibidir.

Tablo 9. Karar Matrisi

	İŞLEMCI	RAM KAPASİTESİ	GARANTİ SÜRESİ	SABİT DİSK KAPASİTESİ	MALİYET	ISPARTA İLİNDEKİ SERVİS SAYISI
U1	4,8	128	24	1000	8600	2
U2	2,9	16	24	1256	7000	1
U3	2,9	64	24	512	10600	0
U4	2,9	8	24	1256	6000	0
U5	2,9	8	24	480	6600	0
U6	2,9	64	24	1000	6730	2

Tablo 9’da bulunan karar matrisinin sütunlarında yer alan her bir değer, bulunduğu sütundaki bütün değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle standart karar matrisi (R) oluşturulmuştur. Yine standart karar matrisinde yer alan değerlerin kriter ağırlıklarıyla çarpılması sonucu Tablo 10’da belirtilen ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilmiştir.

Tablo 10. Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

	0,4483	0,2542	0,146	0,0753	0,0445	0,0259
	İŞLEMCI	RAM KAPASİTESİ	GARANTİ SÜRESİ	SABİT DİSK KAPASİTESİ	MALİYET	ISPARTA İLİNDEKİ SERVİS SAYISI
U1	0,26672	0,20595	0,05960	0,03169	0,02017	0,01727
U2	0,16114	0,02574	0,05960	0,03980	0,01641	0,00863
U3	0,16114	0,10298	0,05960	0,01622	0,02485	0,00000
U4	0,16114	0,01287	0,05960	0,03980	0,01407	0,00000
U5	0,16114	0,01287	0,05960	0,01521	0,01548	0,00000
U6	0,16114	0,10298	0,05960	0,03169	0,01578	0,01727

Ağırlıklı karar matrisinin her sütununda yer alan en büyük değer ideal çözüm kümesini (A_j^*), en küçük değer ise negatif ideal çözüm kümesini (A_j^-) ifade etmektedir. Bu verilere bağlı olarak ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri elde edilmiştir. Euclidian uzaklık yaklaşımı kullanılarak, her bir alternatif için ideal çözüm ölçütleri hesaplanmıştır. İdeal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal çözümden uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) olarak hesaplanmıştır. Sonrasında ise bu ayırım ölçütleri kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığını ifade eden (C_i^*) bulunmuştur. Hesaplanan değerlerin sıralanmış hali Tablo 11’de bulunan sonuç tablosunda gösterilmiştir.

Tablo 11. Sonuç Tablosu

	S _i *	S _i -	C _i *
U1	0,00937	0,22143	0,9594
U2	0,20920	0,02916	0,1223
U3	0,15035	0,09075	0,3764
U4	0,22100	0,02459	0,1001
U5	0,22230	0,00141	0,0063
U6	0,14798	0,09323	0,3865

Yapılan işlemler neticesinde TOPSIS yöntemi ile elde ettiğimiz sonuçlar incelendiğinde, sıralama Tablo 12’de gösterildiği gibidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda U1 olarak adlandırılan masaüstü bilgisayar tercih sıralamasında 1. sırada yer almıştır. 2. sırada ise U6 olarak adlandırılmış olan masaüstü bilgisayar yer almaktadır. Diğer masaüstü bilgisayarlar ise bu ikisine göre daha düşük puanlar alarak sıralanmıştır. U1 olarak adlandırılan masaüstü bilgisayarın yüksek çıkmasında ki en büyük etken ise kriter ağırlığı en fazla olan işlemci hızının diğerlerine göre daha yüksek işlemci hızına sahip olmasıdır.

Tablo 12. Sıralama Tablosu

Sıralama					
1	2	3	4	5	6
U1	U6	U3	U2	U4	U5

4.SONUÇ

Bu uygulamada Isparta ilinde bulunan bir kamu kuruluşunda kurum içi programlarda çalışmalar yapabilmek için alınması planlanan 40 adet masaüstü bilgisayarın seçimi işlemi yapılmıştır. Alanında uzman personelin görüşleri alınarak belirlenen işlemci hızı, ram kapasitesi, garanti süresi, sabit disk kapasitesi, maliyet ve Isparta ilinde bulunan servis sayısı kriterleri kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan alternatifler ise kurum bünyesinde bulunan bilgi işlem biriminde çalışan alanında uzman personelin görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenmiş kriterlerin önem dereceleri belirlenirken alınacak olan masaüstü bilgisayarları kullanacak olan 49 personele, standart tercih tablosu kullanılarak anket uygulanmıştır. Daha sonra AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlık katsayıları hesaplanmıştır. Ağırlık katsayıları hesaplanan kriterler kullanılarak alternatifler TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre yapılan anketin sonuçları incelendiğinde Isparta ilinde bulunan kamu kuruluşuna masaüstü bilgisayar seçilirken en çok dikkat edilen kriterin işlemci hızı olduğu görülmüştür. TOPSIS yönteminin uygulanması sonucunda alternatifler arasında U1 adlı masaüstü bilgisayarın en ideal bilgisayar olduğu belirlenmiştir.

Uygulamada kullanılan AHP ve TOPSIS yöntemlerini desteklemek amacıyla matematiksel yaklaşımların kullanılması, sonraki dönemlerde yapılacak çalışmalar için örnek teşkil edebilir. Böylece matematiksel yaklaşımlar ile elde edilen sonuçların doğruluğu çeşitli kısıtlar ve hedefler altında çoğalabilecektir.

Uygulamada kullanılan kriterler, bilgisayarların kullanım maksatlarına göre farklılık gösterebilir. Karar vericiler masaüstü bilgisayar seçerken kendi özelliğine uygun kriterler belirleyerek bu bütünleşmiş yöntemlerden bazıları üzerinden giderek farklı sonuçlar elde edilebilecekleri gözlenmektedir.

Ayrıca karar vericilerin istekleri doğrultusunda kriter sayısını arttırabilir ve aynı yöntemleri kullanarak kendisi için en uygun seçeneği belirleyebilir. Her bir bilgisayarın özellikleri ve karar vericinin istekleri değişkenlik gösterir. Daha genel sonuçlara bölgesel bazlı genel ölçütler belirlenerek ve daha fazla katılımcının katılması sağlanarak ulaşılabilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışma sırasında kıymetli görüş ve desteklerinden faydalandıkları Sayın Prof. Dr. Ali Erbaşı'ya ve Sayın Prof. Dr. Tülay Turgut'a 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

- Ak Oğuz, M. (2018). AHP ve TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 17 (34), 69-89.
- Alkan, T. ve Durduran, S.S. (2020). Konut seçimi sürecinin AHP temelli TOPSIS yöntemi ile analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 12-21.
- Alp, S. ve Engin, T. (2011). Trafik kazalarının nedenleri ve sonuçları arasındaki ilişkinin TOPSIS ve AHP yöntemleri kullanılarak analizi ve değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10 (19), 65-87.
- Arıbaş, M. ve Özcan, U. (2016). Akademik araştırma projelerinin AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*. 19(2), 167-177.
- Aytaç, M. ve Gürsakal N. (2015). Karar verme(1.Baskı). *Dora Yayıncılık*, Bursa.
- Bhutia, P.W. ve Phipon, R. (2012). Application of AHP and TOPSIS method for supplier selection problem. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2, 43-50.
- Bula, L.D., Rodriguez, C.V. ve Medina, B. (2018). Analytical Hierarchical Process (AHP) for the selection of conveyance in a company that distributes cement blocks at a municipal level. *Indian Journal of Science and Technology*. 11(17), 1-7.
- Chen, C.F. (2006). Applying the analytical hierarchy process (AHP) approach to convention site selection. *Journal of Travel Research*, 45, 167- 174.

- Çelik, C., Alkan, A. ve Aladağ, Z. (2016). Otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmada tedarikçi seçimi: AHP-bulanık AHP ve TOPSIS uygulaması. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 9 (1), 43-83.
- Demirci, T. (2013). *Analitik hiyerarşi sürecine dayalı kredi değerlendirme modeli* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Geyik, O., Tosun, M., Ünlüsoy, S., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2016). Kitap basımevi seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanımı. *Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, 3(6), 106-126.
- Guitouni, A. ve Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*. 109, 501-521.
- Kuşakçı, A.O., Ayvaz, B., Öztürk, F. ve Sofu, F. (2019). Bulanık multimoora ile personel seçimi: Havacılık sektöründe bir uygulama. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 8(1), 96-110.
- Orçun, Ç. ve Eren, B.S. (2017). TOPSIS yöntemi ile finansal performans değerlendirmesi: XUTEK üzerinde bir uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*. 7,139-154.
- Ömürbek, N., Makas, Y. ve Ömürbek, V. (2015). AHP ve TOPSIS yöntemleri ile kurumsal proje yönetim yazılım seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 21, 59-83.
- Ömürbek, N. ve Şimşek, A. (2014). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*. 24, 338-355.
- Özer, M. (2010). *Taşınmaz değerlemesinde kullanılan finansal ve sayısal yöntemler: TOPSIS ve yeni çoklu kriter modelleriyle bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İzmir.
- Öztürk, F. (2020). An integrated AHP and PROMETHEE approach to select the most suitable automobile for consumers. *Engineering and Architecture Sciences Theory, Current Researches and New Trends*. 13, 186-194.
- Öztürk, F. ve Kaya, G.K. (2020a). Afet sonrası toplanma alanlarının promethee metodu ile değerlendirilmesi. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*. 25(3), 1239-1252.
- Öztürk F. ve Kaya, G.K. (2020b). Bulanık VIKOR ile personel seçimi: Otomotiv yan sanayiinde uygulama. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*. 8(1), 94-108.
- Öztürk, F. ve Ünver, S. (2020, Ekim, 16-17). *Supplier selection with fuzzy AHP*. 4th International Erciyes Conference on Scientific Research. Kayseri. 260-272.
- Sakarya, Ş. ve Aksu, M. (2020). Ulaşım sektöründeki işletmelerin finansal performanslarının geliştirilmiş entropi temelli TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*. 7(1), 21-40.
- Shih, H. S., Shyr, H. J. ve Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*. 45(7-8), 801-813.

- Shyur, H.J. ve Shih, H.S. (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and Computer Modelling*. 44(7-8), 749–761.
- Torfi, F. ve Rashidi, A. (2011). Selection of project managers in construction firms using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy TOPSIS: A case study. *Journal of Construction in Developing Countries*. 16(1), 69-89.
- Zavadskas, E. K., Mardani, A., Turskis, Z., Jusoh, A. ve Nor, K.M. (2016). Development of TOPSIS method to solve complicated decision-making problems. An Overview on Developments from 2000 to 2015. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 15(03), 645–682.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

İSTANBUL YEDİKULE CER ATÖLYESİ'NİN T5 BİNASI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ*

EVALUATION OF ISTANBUL YEDİKULE CER WORKSHOP ON T5 BUILDING

Beyza ÖZDEMİR¹

Fernaz ÖNCEL²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
beyzaozdemir@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
16.12.2020

Kabul Tarihi / Accepted
20.05.2021

Öz

Osmanlı Devlet'inde demiryolu ulaşımı 19 yy.' da oluşmaya başlamıştır. Ülke içerisindeki demiryolu istasyonlarına hizmet etmeleri için cer atölyeleri kurulmuş ve Rumeli Demiryolu Hattı için Yedikule Cer Atölyesi açılmıştır. Atölye işlevsiz hale gelmesinden dolayı 1997 yılında kapatılmıştır. Bu çalışma kapsamında Yedikule Cer Atölyeleri içerisinde yer alan T5 Bondaj ve Tav Ocağı Binası incelenmekte olup, binanın günümüzdeki (2019) mevcut durumu ile özgün hali değerlendirilmektedir. Diğer yandan T5 Binasının yeniden işlevlendirilmesi için en az müdahale ile en iyi koruma yaklaşımı belirlenerek, yapının yaşanabilirliğinin sağlanması için yeni işlev önerisinde bulunmaktadır. Böylece T5 binasının tarihsel dokusu ve mimari karakteristik özelliği ile birlikte yaşatılarak, binanın sürdürülebilirliği sağlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rumeli demiryolu hattı, T5 bondaj ve tav ocağı binası, Yedikule Cer atölyeleri, yeniden işlevlendirme.

Abstract

Railway transportation started to occur in the Ottoman State in the 19 th century. Traction workshops were established to serve the railway stations in the country and Yedikule Traction Workshop was opened for the Rumeli Railway Line. The workshop was closed in 1997 due to the inoperative state. Within the scope of this study, T5 Bondaj and Tav Furnace Building within the Yedikule Cer Workshops is examined, and the current (2019) current and original state of the building is evaluated. On the other hand, for the re-functioning of the T5 Building, the best protection approach with the least intervention is determined and a new function proposal is made to ensure the livability of the building. Thus, it is aimed to ensure the sustainability of the building by keeping the T5 building alive together with its historical texture and architectural characteristics.

Keywords: Re-functioning, Rumeli railway line, T5 bondage and furnace building, Yedikule Cer workshops.

*Bu yayın Beyza ÖZDEMİR isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
beyzaozdemir1996@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-6999-2576.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
foncel@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-7394-9485.

1. GİRİŞ

Tarihte ilk demiryolu, MÖ 600 yılında Eski Yunan' da oluklu izlere sahip yollar üzerinde ahşap tekerlekli gemi ve yüklerin taşınması sırasında görülmüştür. 1550 yılında Almanya'daki madenlerde "Hund" adı verilen ve insan gücüyle itilen tekne tipi vagonlar kullanılmıştır. Bu teknik daha sonra İngiltere'deki madenlerde de kullanılmaya başlanmıştır (Bilgiç, 2017, s.3-4).

George Stephenson maden ocaklarında kullanılan lokomotif geliştirecek buhar gücünün taşımacılıkta kullanılmasını sağlamıştır (Kahya, 1988, s.211). Önceleri sadece maden ocaklarında kullanılan lokomotifler, 27 Eylül 1825 tarihinde açılan Stockton - Darlington hattı ile ilk defa yük ve yolcu taşımacılığında kullanılmaya başlanmıştır. Amerika'da 1830, Fransa'da 1832 ve Almanya'da 1835 yıllarında lokomotif kullanılmaya başlanmış ve tüm Avrupa ülkelerine yayılmıştır (Taylan, 1936, s.2-4).

19 yy.' a gelindiğinde Osmanlı Devleti'nin kendi demiryolunu yapma düşüncesi ortaya çıkmıştır. Demiryolu yapımı 1830'lu yıllarda düşünülmüş, ancak 1850'li yıllarda yapımına başlanmıştır (Engin, 1993, s.29-32).

Bu sırada Avrupa Devletleri ham madde temini edebilecekleri ve ürettikleri malı satabilecekleri doğu pazarına ulaştırmak için en kısa yol olan Osmanlı Devleti'ne demiryolu teklifinde bulunmuştur (Satan, 2012, s.209). Osmanlı Devleti de ülke güvenliği sağlamak ve topraklarına hakim olmak için Anadolu'dan geçen bir demiryolu yapılmasını istemiş, ancak yeterli sermaye olmadığından yapamamıştır (Satan, 2012, s.209-214). Demiryolu yapma teklifi gelince ilk kez Britanya Grubuna 23 Eylül 1856 tarihinde İzmir - Aydın hattı için imtiyaz verilmiş, İzmir - Aydın hattı 1 Temmuz 1866 tarihinde açılmıştır (Satan, 2012, s.211-214). Osmanlı Devleti demiryolu ulaşımının avantajlarını fark etmiştir (Engin, 2012, s.219).

Padişah ve Tanzimat yöneticileri Osmanlı Devlet'i ile Avrupa ülkelerini birbirine bağlayan demiryolu hattının yapılmasına karar vermiştir (Akalan, 2010, s. 16). İstanbul ile Avrupa'yı birbirine bağlayan Rumeli Demiryolu hattı için Avrupa basınına ilan vermiştir (Engin, 2012, s.219).

İngiliz Parlamenter Labro 22 Aralık 1856 tarihinde ilana cevap vermiş, Rumeli Demiryolunun Osmanlı Devlet'ine sağlayacağı avantajları sunmuştur (Engin, 1993, s.44). Osmanlı Devlet'i avantajlardan etkilemiş, 23 Ocak 1857 tarihinde mukavele imzalamıştır (Akalan, 2010, s.17). Ancak Labro gerekli sermayeyi karşılayamamış ve imtiyaz hakkı iptal edilmiştir. 13 Nisan 1860 tarihinde dört İngiliz'den oluşan gruba imtiyaz hakkı tanımıştır. Ancak ikinci girişimde de sonuç değişmemiş ve gerekli sermaye karşılanamamıştır (Engin, 2012, s.220).

Üçüncü kez Belçikalı Van Der Elst kardeşlere ait şirketle 31 Mart 1867 tarihinde mukavele imzalanmış, demiryolu hattının İstanbul'dan başlayıp Sırbistan imtiyaz hattına bağlanmasına karar verilmiştir. Ancak şirket demiryolu hatlarının mukavele şartlarında yetiştiremeyeceğini anlamış, imtiyaz hakkını devretmek istemiştir. Nafia Nazırı Davut Paşa teklifi reddetmiş, şirket zor duruma düşünce 12 Nisan 1869 tarihinde imtiyaz hakkı sona ermiştir (Engin, 1993, s.47-48). Dördüncü kez Baron Hirsch ile 17 Nisan 1869 tarihinde mukavele imzalanmış, 1876 Temmuz ayından itibaren 99 yıllığına imtiyaz hakkı tanımıştır (Engin, 1993, s.51).

Demiryolu hattının İstanbul ile başlayıp Bosna'dan geçerek Edirne, Filibe, Enez, Burgaz ve Selanik'e uğrayarak Sava nehrine uzamasına karar verilmiştir (Engin,1993:51). Demiryolu yapımı öncesi hat üzerinde arazi çalışması yapılmış ve Rumeli Demiryolu hattının yönü belirlenerek haritaları hazırlamıştır (Ünal, 2009, s.9). Hazırlıkları tamamlanan hatlar arasında bulunan

Yedikule-Küçükçekmece hattının 4 Haziran 1870 tarihinde inşaatına başlanmış ve 4 Ocak 1871 tarihinde açılmıştır (Engin, 1993, s.65-66).

Rumeli Demiryolu Hattı için yurt dışından lokomotif ve vagonlar gemiler ile getirilmiştir. Ancak tek parça olarak gelen lokomotif ve vagonlar gemilerden indirilirken kazalara neden olmuş, parçalı olarak getirilmesine karar verilmiştir. **Yedikule Cer Atölyeleri** lokomotif ve vagonların monte edilmesi için kurulmuştur (Tabak, 2011, s.126). İşlevini yitirdiği gerekçesi ile 22.07.1997 tarihinde kapatılmıştır (Ünal, 2009, s.18).

Kapatıldıktan sonra uzun yıllar boş bırakılmış, Yedikule Cer Atölyesini oluşturan yapılar ve bunlardan T5 binası terkedildiği için zamanla çeşitli sebeplerden dolayı bozularak günümüze ulaşmıştır. Bu incelemede T5 binasının tekrar yaşatılması ve yaşamını sürdürdürebilmesi için günümüz gereksinimleri, çevre koşulları ve bulunduğu bölgede yaşayan kullanıcılar göz önüne alınarak Fotoğraf Galerisi şeklinde yeni bir işlev önerisinde bulunmaktadır.

2. CER'İN TANIMI VE CER ATÖLYELERİ

Osmanlı Dönemi'nde Arapçadan dilimize girmiş (Karadağ, 2019, s.22), “Cer” kelimesi ‘çekme, sürükleyerek götürme’ anlamlarına gelmektedir (kelimeler.gen.tr, 2020). Cer Atölyeleri; Osmanlı ve Cumhuriyet Dönemlerinde demiryolu istasyonları yakınında inşa edilmiş, lokomotif (çeken) ve vagon (çekilen) tamirlerinin yapıldığı, yeni lokomotif ve vagonların üretildiği yapı topluluğudur (Sezer, 2013, s.77).

Bu bölümde 19 yy. ve 20 yy.’da inşa edilmiş demiryolu yapıları anlatılmaktadır. Çok amaçlı kurulan Eskişehir, Yedikule, Sarıkamış, Ankara ve Sivas Cer Atölyeleri ile Adapazarı Vagon Atölyesi hakkında ayrıntılı bilgi verilmekte, bu çalışma kapsamında incelenen İstanbul Yedikule Cer Atölyesi ile ulusal demiryolu yapılarının karşılaştırılması yapılmaktadır.

İlk olarak 19 yy. Osmanlı Devleti Dönemi'nde görülen ve Almanlar tarafından Eskişehir’de küçük bir atölye olarak kurulan ‘Anadolu – Osmanlı Kumpanyası’ adındaki Cer Atölyesi, Anadolu – Bağdat Demiryolu Hattı’nın buharlı lokomotif, yük ve vagon tamirlerinin yapılması amacıyla inşa edilmiştir (Bozdemir, 2011, s.304).

Kurtuluş Savaşı sırasında **Eskişehir Cer Atölyesi** ismini alan Kumpanya 24 Mayıs 1924 tarihinde millileştirilmiş ve 1927 yılında Devlet Demiryolları ve Limanlar İdaresi Umumiyesi’ne bağlanmıştır (Yatağan, 2013, s.86). Daha sonra 1986 yılında TÛLOMSAŞ/Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş. ismini almış ve günümüzde dizel motor ile lokomotif imalatı yapılmaktadır (Bozdemir, 2011, s.304).

Tülomsaş ilk kurulduğunda lokomotif deposu ve atölyesi, vagon atölyesi, 13. Şube Müdürlüğü, kısım hekimliği ve su deposu işlevleri yer almıştır (Yatağan, 2013, s.105). 1894-1923 yıllarında istasyon binası, yan üretim fonksiyonları: kereste kurutma ve deposu, kum kurutma, kazan temizleme, su soğutma, yönetim ve sosyal mekanlar: okul, hastane ve bürolar işlevleri (Yatağan, 2013:100) ile II. Dünya Savaşı sonrası II. Ulusal Mimarlık etkisi yanında uluslararası biçim izlerinin de görüldüğü yönetim binaları eklenmiştir (Özkut & Özaslan, 2009).

Eskişehir Cer Atölyesi’nin temel üretim biriminden vagon atölyesi Osmanlı döneminde yığma taş tekniği ile inşa edilmiştir. Günümüzde bir bölümü çelikte değiştirilmiş, çatısı kırma ahşap çatıdır. Üretim yan fonksiyonlarından lokomotif deposu C formlu yay biçiminde planlanmış ve üç kısım olarak vurgulanmıştır (Yatağan, 2013, s.106-111).

Osmanlı Devlet'inde demiryolu yapımının artması üzerine ülke içerisindeki demiryolu istasyonlarına hizmet etmeleri için önemli bölge ve noktalara yeni atölyeler inşa edilmiştir. Eskişehir Cer Atölyesi sonrasında **İstanbul Yedikule Cer Atölyesi** kurulmuştur (Ünal, 2009, s.20).

Yedikule Cer Atölyesi parçalı olarak gelen lokomotif ve vagonların monte edilmesi için kurulmuştur (Tabak, 2011:126). Rumeli Demiryolu Hattının Yedikule İstasyonunda 44 dönümlük alan üzerine konumlanmıştır. Artan ihtiyaçlar doğrultusunda da içerisine yeni mekanlar eklenmiş ve 59 binanın bulunduğu büyük bir tesis haline gelmiştir (Ünal, 2009, s.20).

Yedikule Cer Atölyesinin yer aldığı parselin tamamı 16.12.1992 gün 4273 numaralı karar ile İstanbul I Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu tarafından tescillenmiş (Karadağ, 2019, s.44), 22.07.1997 tarihinde de 753 numaralı kararla işlevini yitirdiği gerekçesi ile kapatılmıştır (Ünal, 2009, s.18).

İstanbul II Numaralı Yenileme Alanları Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu tarafından 16.06.2015 tarihinde ise T1, T2, T3, T5 ve T6 binalarının tescillinin devamına karar verilmiştir. Tescillenen binalar atölye içerisinde geniş alan üzerinde yer almaktadır.

Tescilli T1, T2, T3 ve T5 binaları 19yy.sonu – 20yy.başı inşa edilmiş, T6 binası 20yy. ilk yarısında yapılmıştır (Ünal, 2009, s.36-64). Atölye içerisindeki tescilli binalar T6 binası hariç tek katlı harman tuğla duvar üstü ahşap kırma çatı olarak tasarlanmış, T6 binası iki katlı olup betonarme sistemle yapılmıştır (Çobanoğlu & Yılmaz, 2017).

I. Dünya Savaşı'nda ise Doğu Anadolu Rusya tarafından işgal edilmiş, savaş sırasında lojistik amaçlı kullanılmak üzere **Sarıkamış Cer Atölyeleri** Baltik Mimarisi Üslubunda inşa edilmiştir. Rusların 1917 yılında I. Dünya Savaşı'ndan çekilmesi ile işgal ettikleri bölgeleri boşaltmaları ile Sarıkamış Cer Atölyeleri uzun yıllar boş kalmıştır. Bu süreçte atölye içerisindeki yapılar zamanla tahrip olmuş ve yapıların sadece kagir beden duvarları ayakta kalabilmiştir (Karadağ, 2019, s.22).

1923 yılında Türkiye Cumhuriyet'i kurulmuş, Ankara başkent ilan edilmiştir. 1926-1927 yıllarında demiryollarının millileştirilmesine karar verilmiş, program dahilinde **Ankara Cer Atölyesi** kurulmuştur. Ankara Cer Atölyesi üç dikdörtgen birimden oluşturulmuş ve daha sonra bu birimlere hangar yapısı eklenmiştir (Karadağ, 2019, s.23).

Ankara Cer Atölye'si zamanla işlevini yitirmiş (Karadağ, 2019, s.23), 1995 yılına kadar ana hatları kalmış ve dış cephesi sıvanarak aralarına bölmeler eklenmiştir (Sezer, 2013, s.80). Atölye içerisindeki üç dikdörtgen yapı betonarme kolonlardan yapılmış, araları kagir malzeme ile tamamlanmıştır. Tavan yüksekliği 10,43 m. olan yapının üstü çelik strüktür olarak tasarlanmıştır. Sonradan eklenmiş hangar yapısının da çatısı çelik strüktür olarak tasarlanmıştır. Yapının içerisine güneş ışığı almak cephede geniş pencereler kullanılmıştır. Göz hizasının yukarısında ön ve arka cephesine küçük pencereler yapılmış, hangar yapısı olduğu düşünülerek geniş ve yüksek ana kapılar tasarlanmıştır (Sezer, 2013, s.82-83).

Ankara Cer Atölyesi Kültür ve Turizm Bakanlığı ile Türkiye Seyahat Acenteleri Birliği ortaklığında 2010 yılında Ankara Çağdaş Sanatlar Merkezi ve Güzel Sanatlar Galerisi olarak yeniden işlevlendirilmiş ve Cermodern olarak adlandırılmıştır (Karadağ, 2019, s.23-24).

Doğu, İç ve Güney Anadolu bölgelerindeki demiryollarında kullanılan vagon ve lokomotiflerin tamirlerinin yapılması için 1939 yılında ise **Sivas Cer Atölyesi** kurulmuştur (Aslantaş, 1998, s.24-25). Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nde zamanla gelişen demiryolu ulaşımı ile Sivas Cer Atölyesi'nde artan ihtiyaçlara bağlı olarak tezgah, bina ve tesisleri kurulmuş, 1953 yılında yük vagonu

üretimine başlanmıştır. Sivas Cer Atölyesi 1958 yılında Sivas Demiryolu Fabrikası (Tüdemsaş, 2020), 1972 yılında Sivas Demiryolu Makinaları Sanayii Müessesesi-SİDEMAS adını alarak (Miser, 2019, s.31) TCDD Genel Müdürlüğü'ne bağlı Müessese olmuş ve 1975 yılında Müessese Statüsü'nü uygulamaya başlamıştır (Tüdemsaş, 2020). 1986 yılında Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii Anonim Şirketi- TÜDEMŞAŞ olarak adlandırılmıştır (Miser, 2019, s.31).

Sivas Cer Atölyesi inşa edilirken zemin etütleri yapılmış, betonarme kazıklar üzerine Lokomotif ve Vagon Atölyeleri ile Kuvveyi Muharrike Santrali, Su Kulesi ve Takımhane yapıları inşa edilmiştir. Lokomotif ve Vagon Atölyeleri' nin strüktürü demirden, diğer yapıların strüktürü de betonarmeden inşa edilmiştir. Atölye inşa edildiğinde Lokomotif ve Vagon Atölyesi, Kuvveyi Muharrike ve Enerji Santrali, Yardımcı Tesisat ve İdari Binalar olmak üzere toplam beş bölümden oluşmuş (Etker, 1939, s.11-12), zamanla yeni birim ve işlevler eklenmiştir. Kuvveyi muharrike¹ ve enerji santrali bölümünde iki adet buhar türbünü ve üç adet kazan yer almıştır. Yardımcı tesisat bölümü içerisinde işçi yetiştirmek için çırakhane, büyük ve önemli parçaların birleşmesi için kaynak atölyesi, kerestenin kurutulması için kereste kurutma tesisatına sahip yapılar ve istihsal(üretim) merkezleri yer almıştır. İdari binaları: müdüriyet, yemekhane, hekimlik, soyunma-giyinme kısımları ve mağaza hangarları birimleri yer almıştır (Etker, 1939, s.12-13).

Adapazarı Vagon Atölyesi 1951 yılında açılarak türkiye'nin o dönemde yük ve yolcu vagon tamiri ihtiyacını karşılamaya başlamıştır (Aslantaş, 1998, s.24-25). Adapazarı Vagon Atölyesi 1961 yılında Adapazarı Demiryolu Fabrikası ismini almış (TÜVASAŞ, 2020) ve 1975 yılında Adapazarı Demiryolu Fabrikası TCDD Yönetim Kurulu 440 No'lu KİT yasasına uygun olarak Adapazarı Vagon Sanayii Müessesesi - ADVAS ismini almış, müessese TCDD Genel Müdürlüğü'ne bağlanmıştır (Göker, 1985, s.6).

İngilizler tarafından 1858-1861 yıllarında **Alsancak Garı** inşa edilmiş, içerisinde gar, hastane ve yönetim binaları yer almıştır. İki taraftan hizmet verebilen plan yapısında tasarlanmış, Anadolu'da inşa edilmiş ilk istasyonu binasıdır (Erdoğan, 2005, s.32). **Halkapınar lokomotif deposu tren istasyonu** ise 1866 yılında inşa edilmiş, lokomotiflerin bakım ve onarımı yapılmıştır. İstasyonun zemin altına çalışanların kuyu dedikleri bölümde lokomotiflerin alt kısmının tamiri yapılmıştır (Berent, 2005). Almanlar tarafından 1890 yılında **Sirkeci Garı** inşa edilmiştir. Dikdörtgen planlı tasarlanmış, giriş kısmına iki kule konumlandırılmıştır. Cephesinde sivri kemerli pencereler tercih edilmiş, üzerine yuvarlak pencereler konumlandırılmıştır. Çatısı kubbeler ile kapatılmıştır (Erdoğan, 2005, s.38). **Haydarpaşa Garının** ise inşaatı 1908 yılında tamamlanmış, Almanlar tarafından yapılmıştır (Erdoğan, 2005, s.34-35). Gar U formu kol uzunlukları birbirinden farklı plan yapısında tasarlanmış, zemin+3 kat ile ara ve bodrum kattan oluşmuştur. Yığma bina olarak yapılmış, çatısında tamamen ahşap kullanılmıştır (Kösebay Erkan, 2012:28-32).

Adana Garı 1908 – 1918 yıllarında inşa edilmiş, giriş kapısı diğer garlardaki gibi dışarı çıkarılmamıştır. Kapı üstünde yer alan ahşap payandaların tuttuğu saçak ile giriş vurgulanmak istenmiştir. Kapılar düz sivri kemer olarak, alt kattaki pencerelerde daha büyük tasarlanmış, diğer gar binalarının formundan farklı yapılmıştır. **Edirne Karaağaç tren garının** 1914 yılında yapımına başlanmış, savaşın çıkması ile yarım bırakılmış ve 1930 yılında hizmete açılmıştır (Yıldız, 2008, s.125). Zemin döşemesinde çelik tercih edilmiş, taşıyıcı duvarı kesme ve tuğla taşdan inşa edilmiştir. Geleneksel Türk mimarisinin etkisi görülmüştür (Erdoğan, 2005, s.41-42).

Türkiye Cumhuriyeti tarafından 1953 yılında **Karadeniz Ereğli lokomotif bakım ve onarım atölyesi** inşa edilmiştir. Bölgede üretilen kömür, odun ve kerestenin demiryolu ile taşımak için yapılmış, yolcu taşımacılığında yapılmıştır (Tokel, 2018). İçerisinde lojman, büro, hizmetevi, yolcu salonu, küçük büfe, ayakyolu, işlik yapıları yer almıştır (Yıldız, 2019, s.74-75).

¹ Kuvveyi Muharrike: Yüksek kuvvet

Yukarıda ulusal demiryolu yapıları ile kısa tarihçeleri hakkında genel bilgiler aktarılmıştır. Bunlardan 7 demiryolu yapısı atölyeli olarak, 7 ise atölyesiz sadece demiryolu olarak hizmet vermiştir. Yedikule Cer Atölyesi de diğer cer atölyeleri gibi yakınında yer alan demiryolu hattına hizmet vermek amacıyla kurulmuştur.

Atölye içerisinde yer alan işlevler Eskişehir, Sivas Cer ve Adapazarı Vagon Atölyesi benzerlikler göstermektedir. Yedikule Cer Atölyesi kompleksindeki yapılar Eskişehir, Sarıkamış, Ankara ve Sivas Cer Atölyeleri ile Adapazarı Vagon Atölyesi kompleksinde yer alan yapılar gibi dikdörtgen formu lokomotif ve vagonların kolay girmelerine yardımcı olacak şekilde tasarlanmıştır.

3. TCDD, İSTANBUL YEDİKULE CER ATÖLYELERİ T5 (BONDAJ VE TAV OCAĞI) BİNASI

3.1. Yedikule Cer Atölyeleri Konumu ve Tarihsel Gelişimi

Yedikule Cer Atölyeleri, Rumeli demiryolu Hattı'nın Yedikule İstasyonu yanında inşa edilmiş, 2384 ada 7 parselde bulunmaktadır. Kuzeydoğusunda Ermeni Kilisesi, Kuzeybatısında Yedikule Zindanları, Güneybatısında Yedikule Gazhanesi ve hizasında Yedikule Hayvan Barınağı ile Güneydoğusunda 5yy.'dan kalma Bizans surları ve Kennedy Caddesi yer almaktadır (Çobanoğlu & Yılmaz, 2017). Yedikule Cer Atölyeleri Rumeli Demiryolu Hattının Yedikule İstasyonunda kurulmuş, 44 dönümlük alan üzerine konumlanmıştır (Ünal, 2009, s.20).

Yedikule Cer Atölyesi toplam 59 yapıdan oluşmuştur. Yapı kompleksi içinde kereste mağazası, mağaza, kantar, tuvalet, elektrik santrali, makina dairesi, aşevi, kiler, yük vagonajı, modelhane, döşemehane, boyahane, direktörlük binası, demirhane, tamirhane, benzin ve yağ deposu, vagonaj, marangozhane, kaynak evi, kömürlük, fren pos., tornaj, armatör, takımhane, terekeci - metalci, kazanhane, boruhane, dökümhane, makina boyahanesi ile bondaj ve tav ocağı(T5 binası) gibi çeşitli işlevlere sahip atölyeler yer almıştır (Ünal , 2009, s.22).

Yedikule Cer Atölyeleri uzun yıllar hizmet vermiş, lokomotif, yük ve yolcu vagonlarının onarımları yapılmıştır. Zamanla eskiyen atölye tezgahları yenilenmiş, ihtiyaca bağlı olarak binalar tamir edilerek genişletilmiştir. 1948 yılında atölyede 639 işçi çalışıyormuş. Daha sonra atölyeye Çırak Okulu eklenmiş, 1972 yılına kadar hizmet vermiştir (Çobanoğlu & Yılmaz, 2017).

Yedikule Vagon Bakım Onarım Atölyesi ile Yedikule Dizel Lokomotif Deposu 01.03.1992 tarihinde 726 numaralı kararla birleştirilmiş, daha aktif yönetim sağlanması hedeflenerek Yedikule Cer Atölyesi ismini almıştır (Ünal, 2009, s.18). Yedikule Cer Atölyesinin yer aldığı parselin tamamı 16.12.1992 gün 4273 numaralı karar ile İstanbul I Numaralı Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu tarafından tescillenmiştir (Karadağ, 2019, s.44). (Şekil 1)



Şekil 1. Rumeli Demiryolu Hattı - Yedikule İstasyonu (Çobanoğlu & Yılmaz,2017)

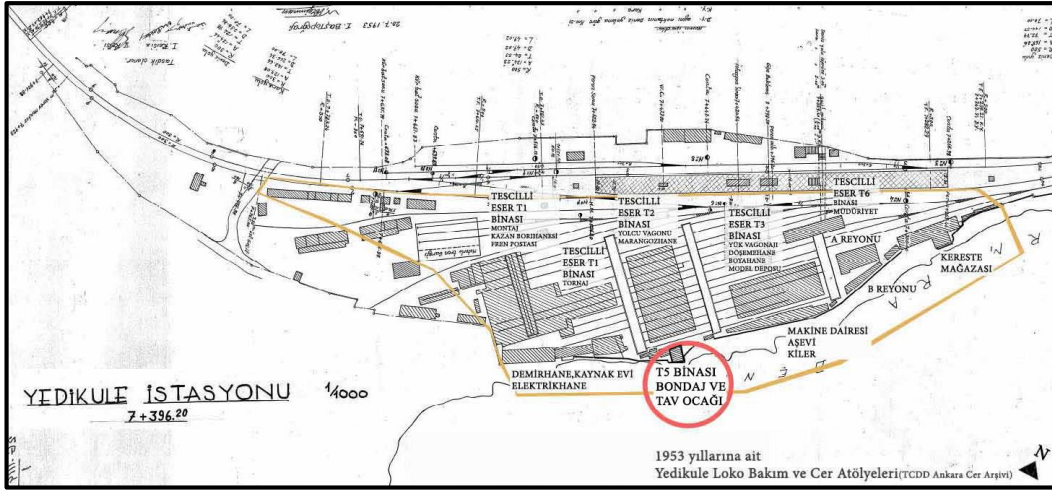
Yedikule Cer Atölyeleri 22.07.1997 tarihinde 753 numaralı kararla işlevini yitirdiği gerekçesi ile kapatılmış (Ünal, 2009, s.18), uzun yıllar boş ve işlevsiz kalmıştır. Zamanla içerisinde yer alan binalar çeşitli sebeplerden zarar görmüş, bazıları yıkılmıştır.

İstanbul II Numaralı Yenileme Alanları Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu tarafından 16.06.2015 tarihinde ise T1, T2, T3, T5 ve T6 binalarının tescilinin devamına karar verilmiş, T1B kısmının zemininde yer alan bakım kanalları ile rayların korunması istenmiştir.

T1 binası atölyenin en büyük yapısıdır. İçerinde fren postası, montaj, tornaj, terekeci ve metalci, kazanhane, takımhane ile armatör işlevleri yer almıştır (Ünal, 2009, s.22). T2 binası atölyenin ortasında konumlanmış, yolcu vagonajı ve marangozhane işlevlerini yerine getirmiştir (Karadağ, 2019, s.45). T3 binası Yedikule tren istasyonu doğrultusunda yapılmış, model deposu, döşemehane, boyahane ve yük vagonajı gibi işlevler yer almıştır (Ünal, 2009, s.22). T5 binası sur duvarının devam ettirilmesi sonucu yapılmış, uzun yıllar bondaj ve tav ocağı işlevinde kullanılmıştır. T6 binası atölyeye sonradan eklenmiş, idari bina olarak işlev görmüştür (Çoban & Yılmaz, 2017). Günümüzde Yedikule Cer Atölyeleri içerisinde T1 binası (T1B kazanhane kısmı hariç), T2, T3, T5 ve demirhane, kaynak evi, elektrikhane, makina dairesi, aşevi ve kiler binaları mevcut durumdadır. Bu atölyeler içerisinde T5 binası özgünlüğü en az bozularak günümüze ulaşmış ve henüz yapıya müdahale yapılmamıştır.

3.2. Yedikule Cer Atölyeleri İşleyişi – T5 Binasının İşlevi

Bondaj Atölyesi (T5 binası)'nde tekerlek ve ona ait kalıplar yer almıştır. **Bondaj Atölyesi** (T5 binası) 'nde yük ve yolcu vagonlarının da tekerlek ve ona ait kalıplarına metal dökülmüştür. Özel tezgahlarının üzerinde çemberler ısıtılarak tekerleklerin üstüne geçirilmiş, torna edilmiştir (Anonim, 1937, s.144). (Şekil 2)



Şekil 2. 1953 Yılında Yedikule Cer Atölyesi Vaziyet Planı
T5 Binası Bontaj ve Tav Ocağı (Çobanoğlu & Yılmaz, 2017)

3.3. T5 Binasının Oluşum ve Gelişimi

T5 Binası Yedikule Cer Atölyeleri içerisinde 19 yy. sonu – 20 yy. başı inşa edilmiş (Karadağ, 2019, s.63), atölye yapısıdır. Tarihi yapı zemin kat tek mekandan oluşmuş, 75m²'lik alan üzerinde konumlandırılmıştır. T5 binası dikdörtgen formlu tasarlanmış, yığma sistemle inşa edilmiştir. Binanın zemini beton zemin olup çatısı ahşap kırma çatı olarak yapılmış ve çatı kaplaması olarak Marsilya kiremit kullanılmıştır.

Binaya girişi sağlayan güneybatı cephesinde 6m genişliğinde ve 5,75m yüksekliğinde giriş açıklığı tasarlanmış, cephe harman tuğla duvar üstü çimento sıva + boya şeklinde yapılmıştır. Güneybatı cephesi binanın çatı doğrultusunda devam ettirilmiş, kalkan duvar oluşturulmuştur. Tepe noktası 7,67m olduğu belirlenmiştir.

Binanın kuzeybatı cephesi sur duvarın bir bölümünün harman tuğla duvar üstü çimento sıva + boya şeklinde devam ettirilmesi sonucu oluşmuştur. Cephede yuvarlak kemer ile biten iki pencere yapılmış, 1,35m genişliğinde ve 2,56m yüksekliğinde tasarlanmıştır. Cephe ve pencerelerin sağ ve sol taraflarında cepheye ait çıkıntılar yer almıştır.

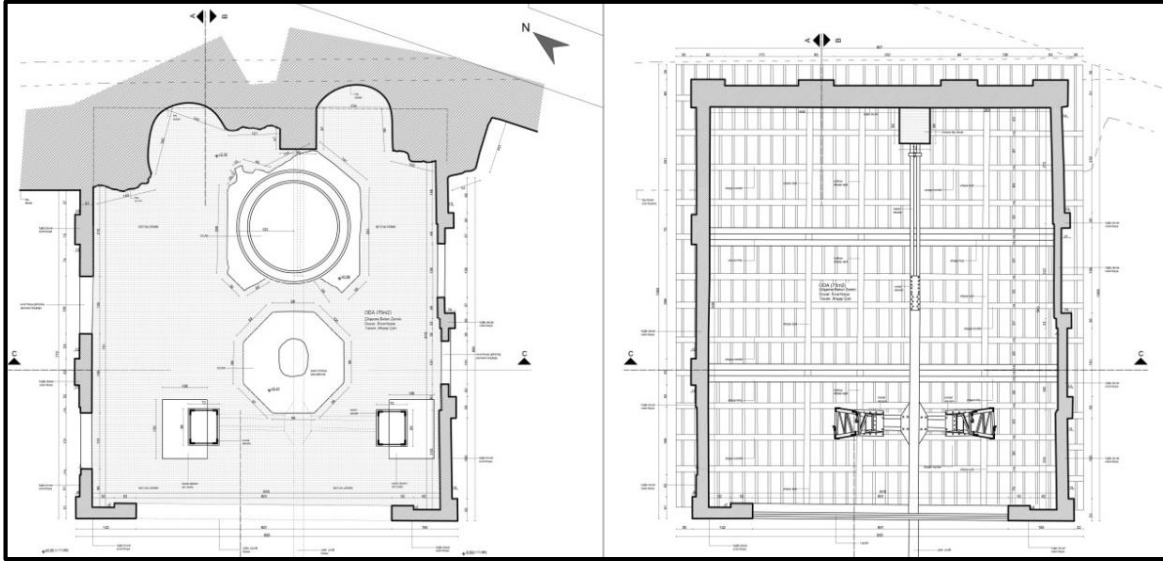
Güneydoğu cephesi sur duvarının harman tuğla duvar üstü çimento sıva + boya şeklinde devam ettirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Cephede 1,02m ve 1,26m genişliğinde 0,80m yüksekliğinde iki pencere yapılmıştır. Cephe ve pencerelerin sağ ve sol taraflarında cepheye ait çıkıntılar yer almış, iç cephesi harman tuğla duvar + çimento sıva olarak yapılmıştır. T5 binasının kuzeydoğu cephesi 3,32m yüksekliğindeki sur duvarının devam ettirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Cephede 1m genişliğinde ve 0,80m yüksekliğinde iki pencere tasarlanmıştır.

T5 Binası içinde işlevine uygun olarak sabit tefrişler yer almış, iki adet 5,91m yüksekliğinde metal aksam konumlanmıştır. Metal aksamın (lokomotif ve vagonların T5 binasına taşınmasını sağlayan hareketli vinç) üst kısmında devam ettirilen profil T2 binasına ve kuzeydoğu cephesine birleşik koni biçiminde 5,5m yüksekliğindeki kesme taş duvara bağlanmıştır. Binanın içerisinde sekizgen ortasında yuvarlak delik bulunan beton blok yer almış, 0,41m yüksekliğinde yapılmıştır. Beton blok hizasında yuvarlak 2,66m çapında ocak yer almış, taş malzeme üzerine oturtulmuş ve 0,9m yüksekliğinde yapılmıştır.

3.4. T5 Binasının Özgün Durumu

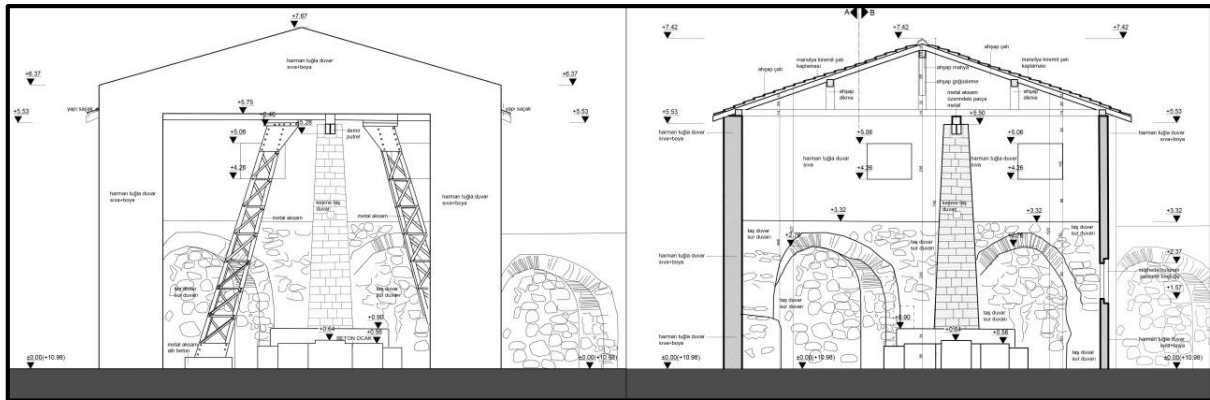
T5 Binasının özgün durumu bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Gerekli kurum ve kuruluşlardan alınan belgeler, internet ve kütüphanelerden yapılan kaynak taramaları sonucu elde edilen fotoğraflar, yazılı ve çizili belgeler değerlendirilmiş, T5 binanın özgün durumunu gösteren restitüsyon projesi hazırlanmıştır.

T5 Binasının mevcut zemin döşemesi toprak zemindir. Binanın yer döşemesi araştırılmış, dönem fotoğrafları ve benzer dönem binaları incelenmiştir. Beton zemin kaplaması olduğu anlaşılmış, çizimlerde aslına uygun olarak çizilmiştir. Çatısı için bina üzerindeki özgün izler, dönem fotoğrafları ve yapı adası üzerindeki dönem binaları incelenmiştir. Ahşap çatısı olduğu tespit edilmiş, dönemine uygun olarak restitüsyon projesinde gösterilmiştir. (Şekil 3)



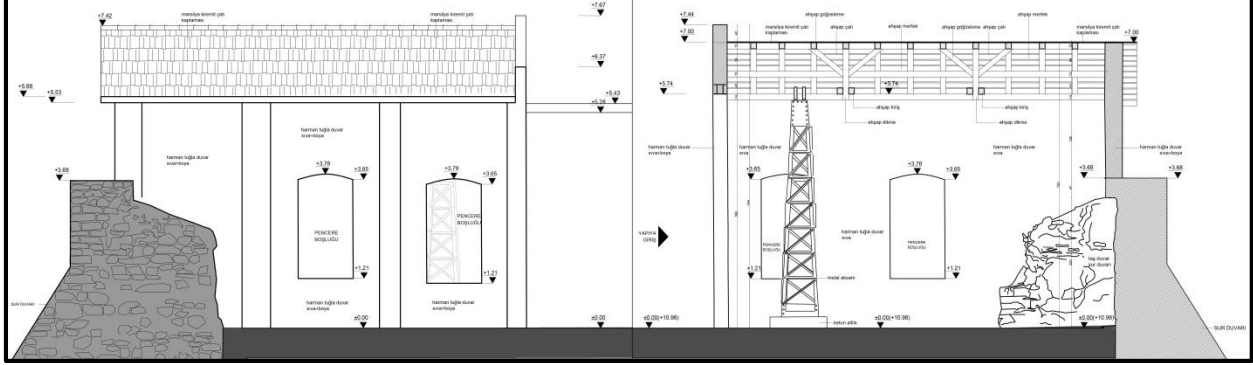
Şekil 3. Zemin Kat Planı (+2,20 Kot Planı) – Tavan Planı (+3,85 Kot Planı)

Binanın güneybatı cephesinde boya ve sıvanın dökülmesi sonucu malzeme sorunları ortaya çıkmıştır. Binanın eski dönemlere ait fotoğrafları ile bina üzerindeki özgün izler incelenmiş, güneybatı cephesi harman tuğla duvar üstü sıva + boya olarak özgün halinde gösterilmiştir. Cephede yapıya girişi sağlayan açıklığın üstündeki parçalanmış kalkan duvar ve meydana gelen parça kayıpları, dönem fotoğrafları ile bina üzerindeki izler dikkate alınarak tamamlanmış, özgün halinde gösterilmiştir. (Şekil 4)



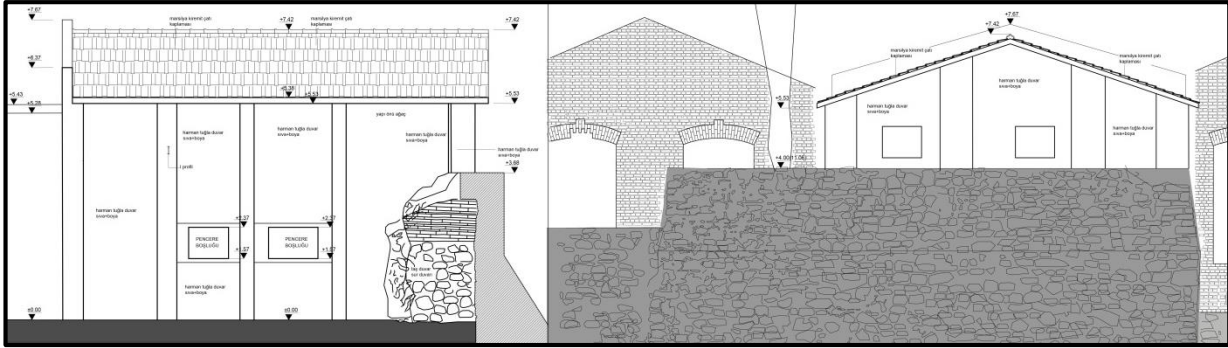
Şekil 4. Güneybatı Cephesi Görünüş ve Kesit

T5 Binasının kuzeybatı cephesinin uzun süre doğal etmenlere mağruz kalması, boya ve sıva dökülmesinin oluşturduğu bozulmalar dönem fotoğrafları ve yerinde gözlemler dikkate alınarak düzeltilmiştir. Cephe harman tuğla duvar üstü sıva + boya olarak çizilmiş, pencere boşluğunun üstündeki parçalanmış duvar tamamlanmıştır. İç cephede yer alan sur duvarında kısmi parçalanma ve aşınmaların oluşturduğu bozulmalar yerinde gözlem ve dönem fotoğrafları incelenerek düzeltilmiş, aslına uygun olarak gösterilmiştir. (Şekil 5)



Şekil 5. Kuzeybatı Cephe Görünüş ve Kesit

Binanın güneydoğu cephesi için eski dönem fotoğrafları ve bina üzerindeki özgün izler incelenmiş, cephe harman tuğla duvar üstü sıva + boya şeklinde gösterilmiştir. İç cephesinde kullanıcıların (evsizler) sebep olduğu malzeme bozulmaları kaldırılmış, güneydoğu cephesinde iki pencere boşluğunu ayıran yıkılmış duvar ve sur duvarından başlayarak yukarı doğru açılan mekanik parçalanmış duvar tamamlanmıştır. Güneydoğu cephesi özgün halinde uygun olarak çizilmiş, restitüsyon projesinde gösterilmiştir (Şekil 6)



Şekil 6. Güneydoğu Cephesi Görünüş

Şekil 7. Kuzeydoğu Cephesi Görünüş

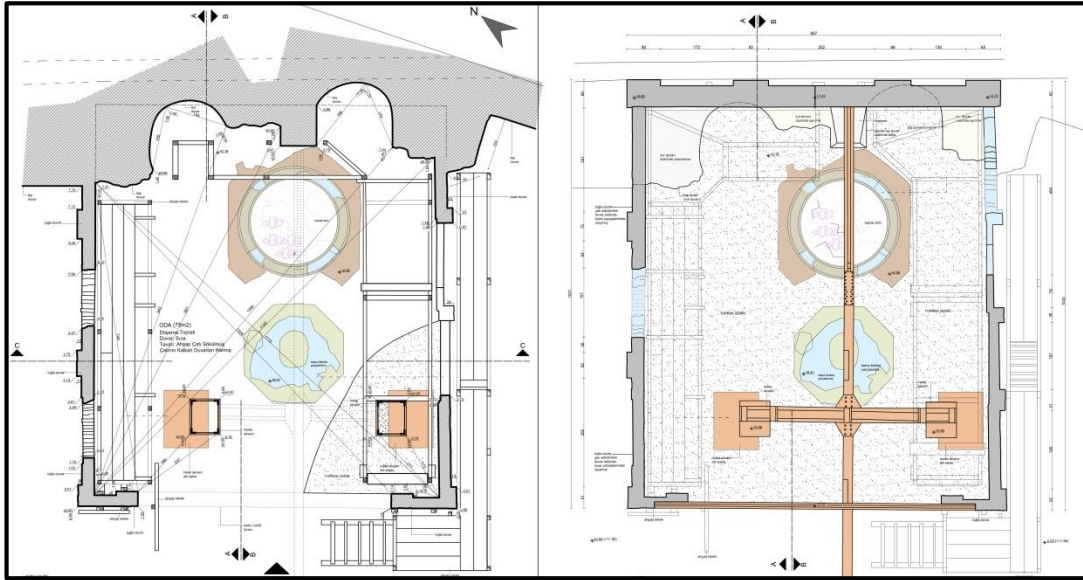
Binanın kuzeydoğu cephesinin uzun süre doğal etmenlere maruz kalması, boya ve sıva dökülmesi sonucu malzeme bozulmalar meydana gelmiştir. T5 Binasının eski dönemlere ait fotoğrafları ve bina üzerinde yapılan gözlemler dikkate alınmış, kuzeybatı cephesi özgün haline uygun olarak harman tuğla duvar üstü sıva + boya olarak çizilmiştir. Bina üzerindeki özgün izler araştırılmıştır. “Yedikule Tren Bakım Üniteleri Koruma Raporu” kaynağı incelenmiş, cephe üzerinde yer alan iki açıklığın pencere boşluğu olduğu tespit edilmiştir.(Şekil 7)

Kuzeydoğu sur duvarı cephesinin iç yüzeyinde yosunlaşma, aşınma ve kısmi mekanik ayrışmalar meydana gelmiş, yerinde yapılan gözlem ve dönem fotoğrafları dikkate alınarak düzeltilmiştir. İç cepheye birleşik metal aksamın bağlandığı kesme taş duvarın eski dönemlere ait fotoğraflarından özgün haline ulaşılmış, kuzeydoğu cephesi aslına uygun olarak restitüsyon projesinde gösterilmiştir. T5 Binasının içerisinde yer alan metal aksam, beton blok ve ocak üzerinde parça

kayıpları ile bozulmalar meydana gelmiş, yerinde gözlem ve bina üzerindeki özgün izler dikkate alınarak aslına uygun olarak çizilmiştir.

3.5. T5 Binasının Bozulmaları ve Değişimleri (Rölöve – 2019 Durumu)

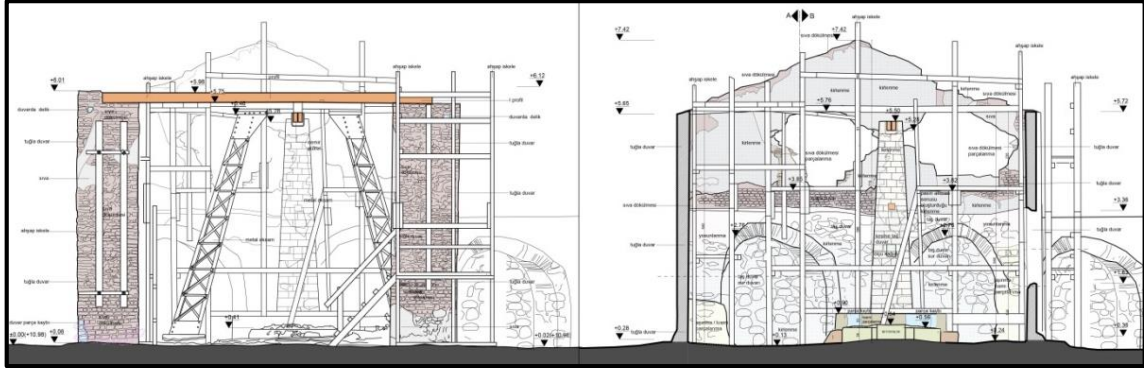
Yedikule Cer Atölyeleri 1997 yılında kapatıldıktan sonra T5 binası işlevsiz ve boş bırakılmıştır (Ünal, 2009, s.18). Binanın zemin döşemesi yok olmuş, toprak zemin açığa çıkmıştır. Duvar ve çatısında bozulma ile parçalanmalar oluşmuş, sıva dökülmesi ve parça kayıpları meydana gelmiştir. Binanın çatısı restorasyon çalışması öncesi sökülüştür. (Şekil 8)



Şekil 8. Zemin Kat Planı (+2,20 Kot Planı) – Çatı Vaziyet Planı

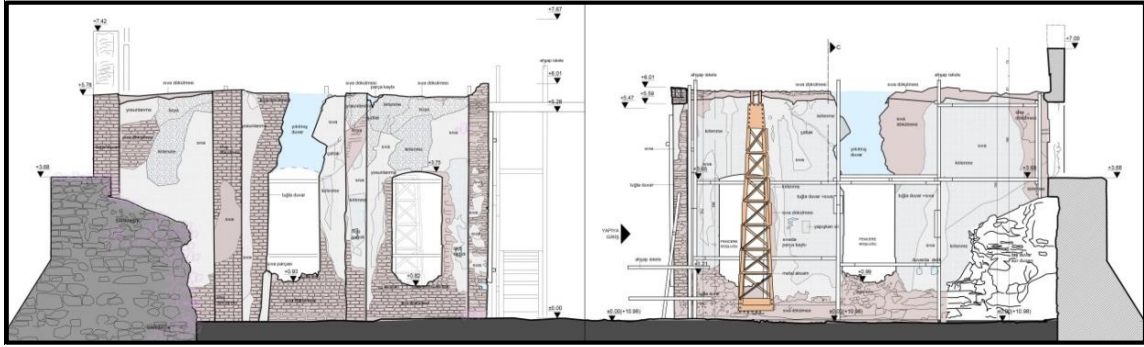
T5 Binasının güneybatı cephesindeki boya tamamen dökülmüştür. Sıva üzerinde dökülme ve bozulmalar gözlemlenmiş, binanın taşıyıcı sistemi olan yığma tuğla duvar açığa çıkmıştır. Zamanla cephenin bir kısmında parça kaybı tespit edilmiş, çiçeklenme gözlemlenmiştir. Güneybatı cephesinde 6m genişlik ve 5,75m yüksekliğinde giriş açıklığı bulunmaktadır. Zamanla açıklığın üstündeki duvar yok olmuş, I çelik profil açığa çıkmıştır. Çelik görüntü uzun süre doğal etmenlere maruz kalarak korozyona uğramıştır. Güneybatı cephesinin iç cephesinde de sıva dökülmeleri ve bozulmalar oluşmuştur. (Şekil 9)

T5 binasının kuzeybatı cephesi, sur duvarının harman tuğla duvar ile devam ettirilmesi sonucu inşa edilmiş, zamanla sur duvarı ile harman tuğla duvarın birleştiği kısımlarda bitkiler yerleşimler gelişmiş, yüzey sarmaşık ile kaplanmıştır. Kuzeybatı cephesi iki pencere boşluğundan oluşmuştur. Fatih Belediyesi'nden alınan belgeler doğrultusunda ağaç yıkılması sonucu pencere boşluklarından bir tanesinin üstündeki duvar yıkılmış, sonucunda mekanik parçalanma oluşmuştur.



Şekil 9. Güneybatı Cephesi Görünüş ve Kesit

Kuzeybatı cephedeki boyaların büyük bir kısmı dökülmüş, boyalı kalan kısımlar uzun süre doğal etmenlere maruz kalmış ve kirlenmeler oluşmuştur. Binaının cephede taşıyıcı sistemi olan yığma tuğla duvar açığa çıkmıştır. Kuzeybatı cephesinin iç cephesinde de sıva dökülmeleri ve bozulmalar tespit edilmiştir. İç cephenin bir kısmını oluşturan sur duvarı doğal etmenlere maruz kalmış, kısmi mekanik parçalanmalar ve aşınmalar tespit edilmiştir. (Şekil 10)

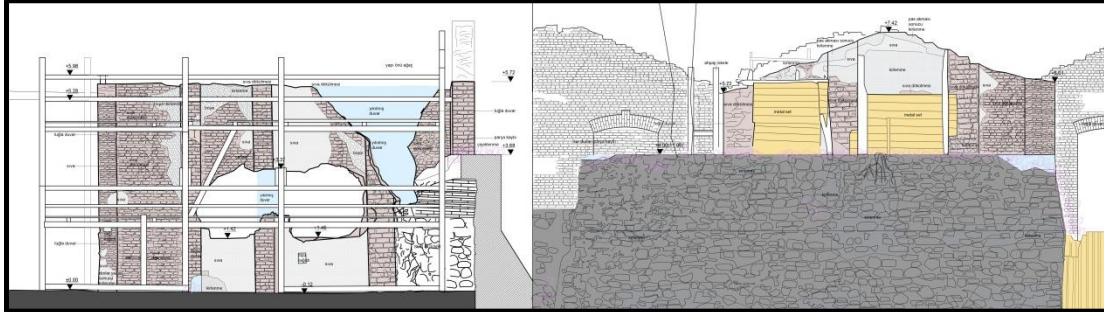


Şekil 10. Kuzeybatı Cephesi Görünüş ve Kesit

T5 binasının güneydoğu cephesi de sur duvarının harman tuğla duvar ile devam ettirilmesi sonucu inşa edilmiştir. Güneydoğu cephesi iki pencere boşluğundan oluşmuş, pencere boşlukları uzun süre doğal etmenlere maruz kalmıştır. Zamanla boşluklar büyümüş, ayırıcı tuğla duvar yıkılmış tek boşluk haline gelmiştir. Bu açıklığın hemen üstünde duvarın bir kısmı yıkılmış, sur duvarından başlayarak yukarı doğru açılan ikinci bir açıklık gözlemlenmiştir. Cephedeki boyalar dökülmüş, boyalı kalan kısımlar doğal etmenlere maruz kalmıştır.(Şekil 11)

Güneydoğu cephesi ve iç cephesinde sıva dökülmeleri ile bozulmalar meydana gelmiş, taşıyıcı sistem yığma tuğla duvar açığa çıkmıştır. İç cephede kirlenmeler gözlemlenmiş, kullanıcılara (evsizler) bağlı olarak cephe üzerinde duvar yazıları tespit edilmiştir.

T5 binasının ahşap çatısının sökülmesi sonucu bina içerisinde yer alan metal aksam (lokomotif ve vagonların T5 binasına taşınmasını sağlayan hareketli vinç), beton blok ve ocak doğal etmenlere maruz kalmıştır. Metal aksam korozyona uğramış, beton blok ve ocakta parça kayıpları ile bozulmalar tespit edilmiştir.



Şekil 11. Güneydoğu Cephesi Görünüş Şekil 12. Kuzeydoğu Cephesi Görünüş

T5 binasının kuzeydoğu cephesi de sur duvarının harman tuğla duvar ile devam ettirilmesi sonucu inşa edilmiştir. Güneydoğu cephesi iki pencere boşluğundan oluşmuş, Kennedy Caddesine bakan kısım metal set ile kapatılmıştır. Cephedeki boyaların çok büyük kısmı dökülmüş, sıva dökülmeleri ve bozulmalar tespit edilmiştir. T5 binası ile sur duvarının birleştiği kısım sarmaşıklarla kapanmıştır. Sur duvarının köşesinde zamana bağlı ve uzun süre doğal etmenlere maruz kalması sonucu kısmi olarak parçalanmıştır. Kuzeydoğu cephesi iç cephesinde sıva dökülmeleri ve kirlenmeler gözlemlenmiş, iç cephe sur duvarı kısmında doğal etmenlere bağlı olarak yosunlanma, aşınma ve kısmi parçalanmalar görülmüştür. İç cepheye birleşik metal aksamın bağlandığı kesme taş duvar kireç ile boyanmış, zamanla çeşitli kirlenmeler meydana gelmiştir. (Şekil 12)

3.6. T5 Binasının Yeniden İşlevlendirilmesi

Gerekli kurum ve kuruluşlardan alınan belgeler, internet ve kütüphanelerden yapılan kaynak taramaları değerlendirilmiş, bina üzerinde gözlemler yapılmıştır. Yapının yeniden işlevlendirilmesine karar verilerek, özgünlüğüne zarar vermeden yeni işlev önerisi getiren restorasyon projesi geliştirilmiştir.

T5 binasının mevcut durumu harabenin estetiği yaklaşımı ile benimsenmiş, zamanla yapı üzerindeki değişim katmanları ile mevcut durumu gösterilmiştir. Yapının günümüz şartlarında da ayakta kalması için en az müdahale ile en iyi koruma anlayışı benimsenmiş, gerekli fiziksel ve işlevsel müdahaleler önerilmiştir. Bina üzerinde oluşmuş kirlenme ve çiçeklenmeler kaldırılmış, binanın parçalanmış duvarları şeffaf cam ile tamamlanarak değişim katmanları sergilenmiştir. Yapıdaki çatı ve açıklıkların çelik ve cam ile kapatılmıştır.

Günümüzde Yedikule Cer Atölyeleri'nin restorasyonu özel bir firma tarafından çalışılmıştır. T5 Binası dışında atölye içerisindeki diğer yapılara yeni işlev olarak ticaret, restoran, müze, satış üniteleri, butik otel, dükkan ve dini tesis işlevlerinin verilmesi düşünülmüş, atölyenin bölgede yeni bir merkez olması hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle T5 binasının hem fiziksel sorunları ele alınarak fiziksel müdahale, hem de yapının yeniden yaşatılması için işlevsel müdahale önerileri sunulmuştur. T5 binasının yakın çevresi incelenmiş, günümüz şartları ve binanın mevcut durum değerlendirilmiştir.

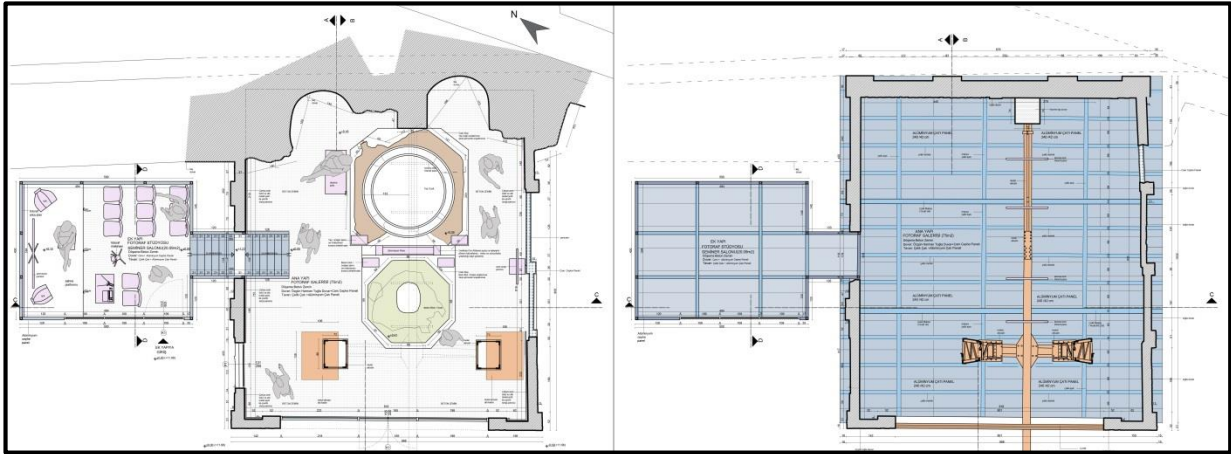
T5 binasının çevresine önerilen ve uygulanmakta olan yeni işlevlere destek vermesi, binanın sürdürülebilirliğini sağlanması, çevresine katkı sağlayan tarihsel dokunun ve mimarının vurgulandığı 'Fotograf Galerisi ve Stüdyosu' işlevleri önerilmiştir. Yapılan müdahale önerilerinde yıkılan kısımlar çağdaş, sade, yalın malzemeler ile tamamlanarak; yapının değişimi, yıllar içerisinde bozulması ve tarihsel katmanlaşmanı vurgulanması istenmiştir.

3.6.1. Fiziksel müdahale önerileri

T5 Binasının zamanla zemin döşemesi yok olmuştur. Binanın eski dönem fotoğrafları ve benzer dönem binaları incelenmiş, restorasyon projesinde özgün hali beton zemin döşemesi önerilmiştir. Binanın duvarlarında bozulma ve parçalanmalar görülmüştür. Duvarların daha fazla zarar görmesini engellemek amacıyla parçalanmış kısımların cam cephe paneli ile tamamlanması önerilmiştir, binanın değişimi tarihsel katmanlaşması gösterilmiştir.

T5 Binasının çatı boşluğu için eski dönem fotoğrafları ve bina üzerindeki özgün izler incelenmiş, özgün hali olan ahşap beşik çatı ile aynı form ve yükseklikte çelik çatı önerisinde bulunulmuştur. Restorasyon malzemesi olarak günümüz malzemesi olan çelik ve cam önerilmiş, yapılan değişim gösterilmiş ve restorasyon dönemi hakkında bilgi verilmiştir.

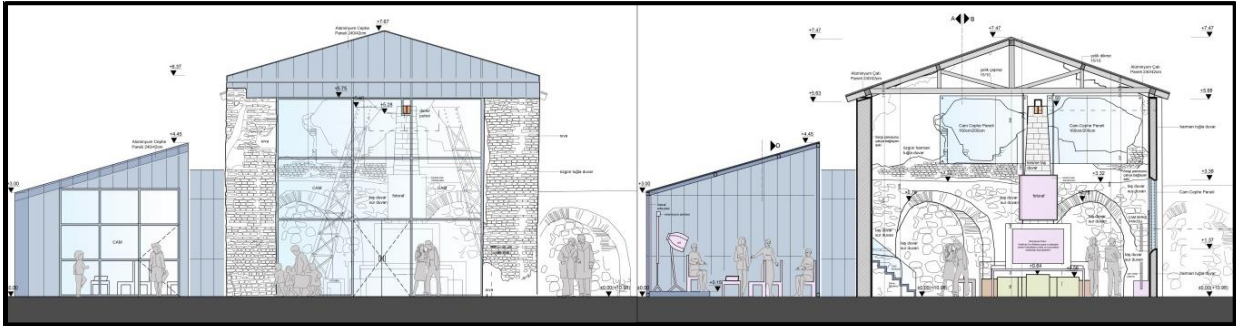
T5 Binasının içerisinde yeni işlev için yaşam koşullarına uygun ek yapı önerilmiş, ek yapının tarihi binanın önüne geçmesi istenmediğinden geliş yönünde değil kuzeybatı cephesine yerleştirilmiştir. Proje alanına girildiğinde ilk T5 binasının görülmesi hedeflenmiş, ilerledikçe T5 bina hizasının daha arkasında konumlanmış ek yapı görülmektedir. Ek yapıya “Fotograf Stüdyosu” işlevi önerilmiş, kursların ve seminerlerin verildiği mekan elde edilmiştir. Ek yapının zemini T5 binası ile uyum sağlamak için beton zemin tercih edilmiştir. (Şekil 13)



Şekil 13. Zemin Kat Planı (+2,20 Kot Planı) –Vaziyet Planı

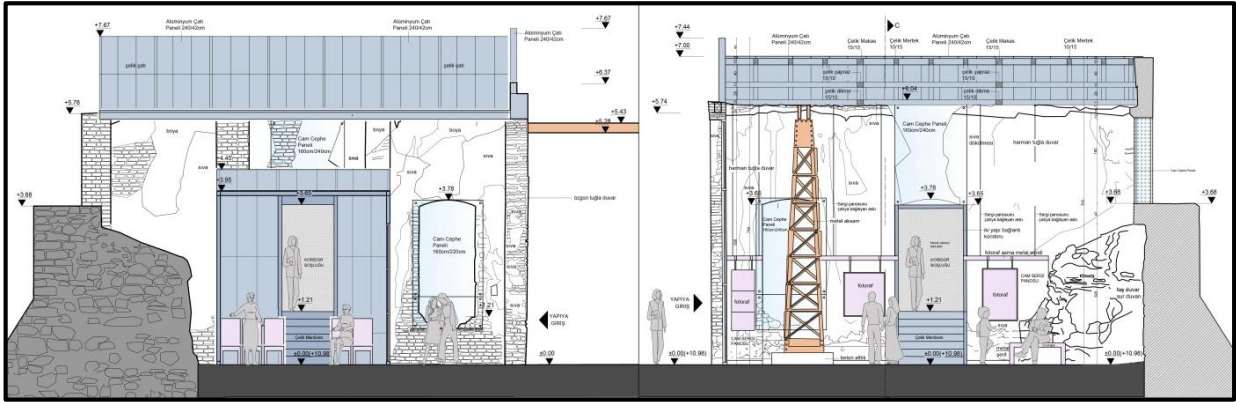
T5 Binasının güneybatı cephesinde boya ve sıva dökülmesi sonucu bozulmalar, parçalanmalar oluşturmuştur. Cephenin daha fazla bozulmasına sebep olacak kısımlar tamamlanmış, tuğla duvar bitiminde oluşan bitkisel yerleşmeler temizlenmiştir. Cephenin bakım ve onarımı yapılmıştır. Binaya girişi sağlayan açıklık için çağdaş yaşam koşullarına uygun tasarım önerisinde bulunulmuş, açık giriş cam ve çelik taşıyıcı ile kapatılmıştır.

Cephedeki giriş açıklığının üstündeki parçalanmış duvarın nasıl devam ettiği araştırılmış, binaya ait eski dönem fotoğrafları ile bina üzerindeki izler incelenmiştir. Özgün haline uygun olarak aynı form ve yükseklikte çelik strüktür ile tamamlanması önerilmiştir. Güneybatı cephesinin iç cephesinde zamanla oluşan kirlenmeler temizlenmiş, duvarın bakım ve onarımı yapılmıştır. (Şekil 14)



Şekil 14. Güneybatı Cephesi Görünüş ve Kesit

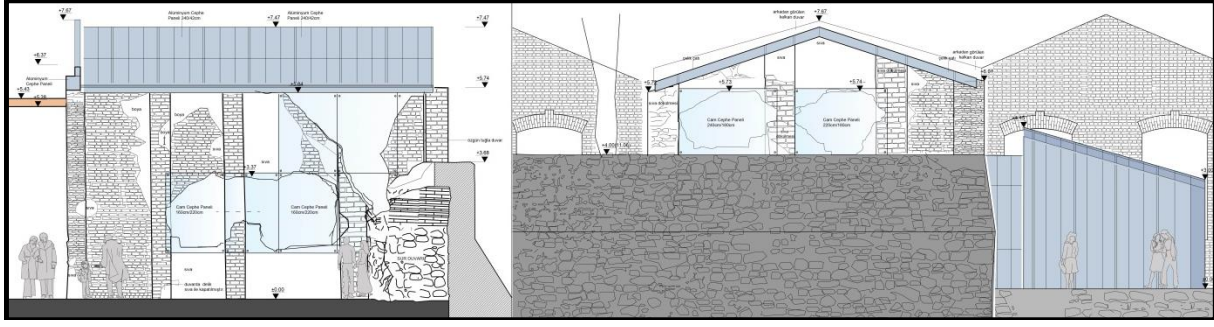
T5 Binasının kuzeybatı cephesinde boya ve sıvanın dökülmesi sonucu bozulmalar, parçalanmalar oluşmuş, cephenin daha fazla bozulmasına sebep olacak kısımların cam cephe paneli ile tamamlanması önerilmiştir. Binanın değişimi tarihsel katmanlaşması gösterilmiş, cephedeki çatlakların onarılması önerilmiştir. T5 binası ile ek yapı arasında bağlantı sağlanmak istenmiştir. Ek yapının tarihi binanın mevcut durumuna zarar vermemesi için güneybatı cephesinde yer alan pencere boşluğundan koridor ile ana ve ek yapının bağlantısı sağlanmıştır. (Şekil 15)



Şekil 15. Kesitler

Cephenin diğer pencere boşluğunda da zamanla doğal etmenlere mağruz kalması sonucu genişlemeler, bozulmalar meydana gelmiş, açık pencere boşluğunun cam ve çelik taşıyıcılar ile kapatılması önerilmiştir. Sur duvarı ile kuzeybatı cephesinin birleştiği kısımda yer alan sarmaşık kaldırılmış, cephede oluşan yosunlanma ve kirlenmeler temizlenmiştir. Cephenin bakım ve onarımı yapılmıştır.

T5 Binası güneydoğu cephesinin doğal etmenlere mağruz kalması sonucu tuğla duvarda parça kayıpları oluşmuş, binanın eski dönem fotoğrafları ve bina üzerindeki özgün izler incelenmiş ve cam cephe paneli ile tamamlanması önerilmiştir. Binanın değişimi tarihsel katmanlaşması gösterilmiş, duvarın daha fazla bozulması engellenmiştir. Sur duvarı ile güneydoğu cephesinin birleştiği kısımda büyüyen bitkisel yerleşmeler kaldırılmıştır. Cephede oluşan kirlenmeler temizlenmiş, bakım ve onarımı yapılmıştır. (Şekil 16)



Şekil 16. Güneydoğu Cephesi Görünüşü Şekil 17. Kuzeydoğu Cephesi Görünüşü

T5 Binası kuzeydoğu cephesinin doğal etmenlere maruz kalması, sıva ve boya dökülmelerinin yaşanması sonucu yüzeylerde bozulmalar ve malzeme kayıpları meydana gelmiştir. Cephede yer alan iki açıklık önündeki metal set kaldırılmış, açıklıkların cam cephe paneli ile kapatılması önerilmiştir. Cephenin daha fazla bozulması engellenmiştir. Cephede oluşan kirlenmeler kaldırılmıştır. (Şekil 17) Kuzeydoğu cephesinin iç cephesindeki sur duvarında oluşan yosunlanma ve kirlenmeler temizlenmiştir. Metal aksamın bağlandığı kesme taş duvarın bakım ve onarımı yapılmış, özgün haline getirilmiştir.

T5 Binası içerisinde yer alan iki adet metal aksam (lokomotif ve vagonların T5 binasına taşınmasını sağlayan hareketli vinç) doğal etmenlere mağruz kalmış ve korozyona uğramıştır. Metal aksamların bakım ve onarımı yapılmış, özgün haline getirilmesi önerilmiştir. Fotoraf galerisi olarak değiştirilen T5 binası içerisinde sergilenmesi istenmiş, binanın tarihsel özelliğinin vurgulanması amaçlanmıştır. Bina içerisinde yer alan beton blok ve ocakta doğal etmenlere mağruz kalmış, parça kayıpları ve bozulmalar meydana gelmiştir. Beton blok ve ocak temizlenmiştir. Mevcut durumları korunmuş, bina içerisinde sergilenmeleri önerilmiştir.

3.6.2. İşlevsel müdahale önerileri

T5 Binası işlevini kaybetmeden önce bondaj ve tav ocağı atölyesi olarak kullanılmıştır. Bina içerisinde bondaj ve tav ocağı işlevi için gerekli sabit tefriş elemanları yer almıştır. Bu çalışma kapsamında T5 binasına 'Fotoraf Galerisi' işlevi önerilmiş, mekan ve çevrenin tarihsel dokusunun vurgulanması ve geçmiş dönem fotoğrafları ile atölye işleyişinin anlatılması istenmiştir. Bina içerisinde konumlanan beton blok ve ocak cam küp içerisine alınmış, hasar görmeleri engellenmek istenmiştir. Cam küp üzerine tanıtım kartları koyularak yapı elemanlarının T5 binası içerisindeki rolleri anlatılmıştır. T5 Binasına fotoğraf galeri işlevi ile birlikte yeni tefriş önerilerinde bulunulmuştur. Sinevizyon panosu önerisi ile Yedikule Cer Atölyesi içerisindeki işleyiş anlatılmış, T5 binasının rolü belirtilmiştir.

T5 Binası tek mekana sahiptir. Yeniden işlevlendirilirken mekanın verimli kullanılması amaçlanmış, bina içerisindeki boş duvarlara çelik çatıya asılı üstü ve altı metal şerit ile çevrili sergi panoları önerilmiştir. Geniş cam açıklıklarının bulunduğu cepheye ayaklı cam sergi panosu koyulmuş, bina içerisinde yer alan iki metal aksamın kesiştiği I profile fotoğraf panoları asılmıştır. T5 Binasının mevcut durumunun sergilenmesi, Yedikule Cer Atölyesi'nin ve binanın geçmiş işlevlerinin fotoraf ve sinevizyonlar ile anlatılması amaçlanmıştır.

T5 Binası ve yeni yapı (ek yapı) birlikte işlevlendirilmesi önerisinde bulunulmuştur. T5 Binası - Fotoraf galerisi işlevine destek veren ve çeşitli kursların düzenlendiği 'Fotoraf Stüdyosu' işlevi önerilmiştir. Ana yapı ile ek yapı arasında bağlantı geçiş koridoru ile sağlanmış, ek yapıda sahne platformu koridorun tam karşısına konumlanmıştır. Geçiş koridoruna bakan birinin iki yapı arasındaki işlev ilişkisini görmesi amaçlanmıştır. Ek yapı 20m² alan üzerine konumlanmış, 6,7m² kısmını sahne platformu oluşturmuş ve 15cm yüksekliğinde tasarlanmıştır. Sahne platformunda

fotograf arka planı, sinevizyon panosu, ışık ve fotoğraf makinaları yer almış, mekanın geri kalanını sahne platformu gören sandalyeler, sinevizyonun ayarladığı bilgisayar, sinevizyon ve elektronik aletlerin konulduğu masa oluşmuştur.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında Yedikule Cer Atölyeleri içerisinde yer alan T5 Bondaj ve Tav Ocağı binası incelenmiştir. Yapı hakkında internet ve kütüphanelerden yapılan kaynak taramaları, gerekli kurum ve kuruluşlardan alınan yazılı ve çizili belgeler değerlendirilmiş, bina üzerinde yerinde gözlem yapılmıştır (2019 Yılı Şantiye Gezileri).

T5 binasının mevcut durumu hakkında bilgi edinilmiş, yapının fotoğrafları çekilmiştir. Elde edilen tüm belgeler incelenmiştir ve bu çalışma kapsamında; T5 Binasının Bozulmaları Ve Değişimleri (Rölöve – 2019 Durumu) başlığı altında incelenmiştir. Rölöve projesi ile binanın mevcut durumu gösterilmiştir. Kurum ve kuruluşlardan edinilen eski dönem fotoğraflar, yazılı ve çizili belgeler incelenmiş, hazırlanan restitüsyon projesinde kaynak olarak kullanılmıştır. T5 Binasının Özgün Durumu başlığı altından incelenmiştir.

T5 Binasının Yeniden İşlevlendirilmesi başlığı altında yapılan tüm çalışmalar değerlendirilmiş, binanın yakın çevresi incelenmiştir. Binanın günümüz şartlarında varlığını sürdürebilmesi için en az müdahale ile en iyi koruma anlayışı belirlenmiştir. Bu amaçla yapı için gerekli fiziksel ve işlevsel (Fotograf Galerisi ve Stüdyosu) müdahaleler önerilmiştir. Bu önerilerde; günümüz şartları ve binanın mevcut durumu dikkate alınmıştır. Zamanla bina üzerinde oluşan bozulma katmanlarının günümüze de yansıtılarak, yapının özgünlüğünün korunup gelecek nesillere ulaştırılması amaçlanmıştır.

Öncelikle en az müdahale ile en iyi koruma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu nedenle T5 binasının yaşamını devam ettirmesi için mecburi tamamlanacak alanlarda; değişim ve bozulmasını öne çıkarmak amaçlı sade, yalın çağdaş malzemelerin kullanılması önerilmiştir. Bu öneri ile mecburi alanlarda bütünleme yapılmış, yapının sürdürülebilirliği amaçlanmıştır. T5 binasına yeni işlev önerisinde bulunularak binanın tarihine saygı duyulması Yedikule cer atölye içerisindeki yer alan diğer işlevlere destek vererek çevresine katkı sağlaması hedeflenmiştir.

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. Beyza ÖZDEMİR 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

- Akalan, A.O. (2010). *Bir kurum olarak Türkiye Cumhuriyeti devlet demiryolları tarihi* [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi Enstitüsü. Ankara.
- Anonim (1937). Devlet demiryolları idaresinin Eskişehir atölyesi, *Demiryollar Dergisi*. 13,141-144.
- Aslantaş, S. (1998). T.C.D.D., *Sirkeci-Halkalı banliyö hattı tarihi lojman yapıları ve koruma önerileri* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Berent, O. (2005). Halkapınar lokomotif deposu. http://web.deu.edu.tr/berent/tren/geziler/trgz_100905.html adresinden 22 Haziran 2020 tarihinde alınmıştır.
- Bilgiç, Ş. (2017). Demiryolu ders notları-1. <https://web.ogu.edu.tr/akalin/Sayfa/Index/8/toprak-isleri-ve-demiryolu-muhendisligi> adresinden 01 Ekim 2020 tarihinde alınmıştır.
- Bozdemir, M. (2011). Osmanlı'dan Cumhuriyet'e endüstriyel mirasımız, *İstanbul Ticaret Odası Ekonomik ve Sosyal Yayınları*, İstanbul.
- Çobanoğlu, A.V. ve Yılmaz, H.F. (2017). Yedikule demiryolu tesisleri (cer atölyeleri) sanat tarihi raporu. <http://www.erhanuludag.com/tr/yedikule-demiryolu-tesisleri-cer-atolyeleri-sanat-tarihi-raporu/> adresinden 28 Nisan 2019 tarihinde alınmıştır.
- Engin, V. (1993). Rumeli demiryolları. *Eren Yayıncılık ve Kitapçılık*. İstanbul.
- Engin, V. (2012). Rumeli demiryolları, Engin,V., Uçar, A., ve Doğan, O. (edts), Osmanlı' da ulaşım kara-deniz-demiryolu. *Çamlıca Basım Yayın*. İstanbul.
- Erdoğan, H.A. (2005). *Konya tren istasyonu ve yakın çevresinin gelişimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- Etiker, S. (1939). Devlet demiryolları cer dairesi B. Sedat Etiker'in nutku, *Demiryollar Dergisi Nesriyatından*, 12.
- Göker, S. (1985). Adapazarı vagon sanayii müessesesi, *Demiryol Aylık Mesleki Dergi*. 6.
- Kahya, E. (1988). Türkiye'de ilk demiryolları, Belleten. <https://drive.google.com/file/d/1Ei2aehwwImzH6o1tBx30bnXT7uEhJlKR/view> adresinden 03 Aralık 2020 tarihinde alınmıştır.
- Karadağ, T. (2019). *Endüstri mirasımız ve Yedikule cer atölyelerinin tescilli kagir yapılarına statik güçlendirme önerileri* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kelimeler.gen.tr (2020). Cer kelimesi. <https://kelimeler.gen.tr/cer-nedir-ne-demek-60068> adresinden 15 Ekim 2020 tarihinde alınmıştır.
- Kösebay Erkan, Y. (2012). Haydarpaşa – Sirkeci garları, Varol, K. (Ed.), Memleket Garları. *İletişim Yayınları*. İstanbul.

- Miser, S. (2019). Osmanlı' dan Cumhuriyet'e demiryolları politikaları, *Ausb Dergisi*. 2, 31.
- Özkut, D. ve Özasan, N. (2009). Cumhuriyet Dönemi mimarlığı. <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=358&RecID=1996> adresinden 10 Ekim 2020 tarihinde alınmıştır.
- Satan, A. (2012). Osmanlı'nın demiryolu çağına girişi, Engin, V., Uçar, A. ve Doğan, O. (eds), Osmanlı'da Ulaşım Kara-Deniz-Demiryolu. *Çamlıca Basım Yayın*. İstanbul.
- Sezer, S. (2013). *Endüstri yapılarının yeniden işlevlendirilmesi sürecinde aydınlatma tasarımı: Ankara cer modern örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Tabak, D. (2011). *Endüstriyel miras alanlarında peyzaj tasarımı yaklaşımı Yedikule gazhanesi örneği* [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Taylan, O.T. (1936). Demiryollar işletmesi teşkilat, tarifler, katarlar ve cer işleri. *Yüksek Mühendislik Mektebi Matbaası*. İstanbul.
- Tokel, R. (2018). Bir endüstri mirası örneği: 1-DDY Karadeniz Ereğli lokomotif bakım ve onarım işliğı. <http://kentvedemiryolu.com/bir-endustri-mirasi-ornegi1-ddy-karadeniz-eregli-lokomotif-bakim-ve-onarim-isligi/> adresinden 30 Haziran 2020 tarihinde alınmıştır.
- Tüdemsaş (2020). http://www.tudemsas.gov.tr/tudemsas/tr/HTML/sag_menu_html/20131223_152547_1_1_1.html adresinden 05 Eylül 2020 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. (TÜVASAŞ) (2020). <https://tuvasas.gov.tr/tarihce> adresinden 10 Eylül 2020 tarihinde alınmıştır.
- Ünal, M. (2009). *Endüstri mirası kapsamında İstanbul Yedikule TCDD atölyelerinin mimarisi ve koruma sorunları* [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- Yatağan, N. (2013). *Cumhuriyet dönemi endüstri yapıları ve modernleşme ilişkileri üzerine bir inceleme: Eskişehir Tülomsaş yerleşkesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Yıldız, A. (2008). *Tarihi tren istasyonlarının çağdaş kullanımları; Kırklareli tren istasyonunun rehabilitasyonu* [Yüksek Lisans Tezi]. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- Yıldız, M.S. (2019). *Karadeniz Ereğli'de bir endüstri mirası: Lokomotif bakım atölyesinin yeniden işlevlendirilemesine yönelik bir öneri* [Yüksek Lisans Tezi]. Fatih Sultan Mehmet Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.



COMPARISON OF SOME COUNT MODELS IN CASE OF EXCESSIVE ZEROS: AN APPLICATION

AŞIRI SIFIR DURUMUNDA BAZI SAYIM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI: BİR UYGULAMA

Öznur İŞÇİ GÜNERİ¹

Burcu DURMUŞ²

Aynur İNCEKIRIK³

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
oznur.isci@mu.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
15.03.2021

Accepted / Kabul Tarihi
28.06.2021

Abstract

Different regression models have been developed in the literature for count data. Among these, the most well-known regression models are Poisson and negative binomial regression models. Poisson or negative binomial models are suitable if there are not many zero-valued terms. When there are excessive zeros in count data, zero-inflated Poisson models are the most preferred models in the case of equal dispersion, and zero-inflated negative binomial models are the most preferred models in case of overdispersion. Other models used in the case of too many zeros are the Poisson Hurdle and negative binomial Hurdle models. In this study, these models are compared for a sample data set. For this purpose, LL, AIC, BIC and Vuong test statistics were used.

Keywords: Count data, Hurdle model, negative binomial model, poisson model, zero-inflated models.

Öz

Sayma verileri için literatürde farklı regresyon modelleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında en bilinen regresyon modelleri Poisson ve negatif binomial regresyon modelleridir. Poisson ya da negatif binomial modeller eğer fazla sıfır değerli terimler yoksa uygun olur. Sayma verilerinde aşırı sıfır olduğunda eşit yayılım durumunda zero-inflated Poisson, aşırı yayılım durumunda zero-inflated negatif binom modelleri en çok tercih edilen modellerdir. Çok fazla sıfır olması durumunda kullanılan başka bir model de Poisson Hurdle ve negatif binomial Hurdle modelleridir. Bu çalışmada örnek bir veri seti için bu modeller karşılaştırılmıştır. Bu amaçla LL, AIC, BIC ve Vuong test istatistiği kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hurdle model, negatif binomial model, poisson model, sayma verisi, sıfır şişirilmiş modeller.

¹Mugla Sitki Kocman University, Faculty of Science, Department of Statistics, Kotekli Campus, Mugla, Turkey.
oznur.isci@mu.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3677-7121.

²Mugla Sitki Kocman University, Rectorate Performance Analysis Unit, Kotekli Campus, Mugla, Turkey.
burcudurmus@mu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-0298-0802.

³Manisa Celal Bayar University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Econometrics, Manisa, Turkey.
aynur.incekirik@bayar.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-1825-0097.

1. INTRODUCTION

Count models have a wide range of applications, especially in fields such as public health, epidemiology, psychology, social sciences, economics, demography, sociology, insurance and educational sciences. Poisson regression (PR), which is one of the widely used count models, uses the assumption that the conditional variance of the dependent variable is equal to the conditional mean, while negative binomial regression (NBR) is used in the case of overdispersion. Applying Poisson regression causes bias in parameter estimates and standard errors in case of overdispersion (Khoshgoftaar et al., 2005). In case of overdispersion, except for negative binomial distribution, generalized Poisson regression model, generalized negative binomial regression model, quasi model can be applied. Apart from these, Poisson-inverse Gaussian, Poisson-Lognormal are other methods used (Denuit et al., 2007).

Count data has zero values by nature and the classical least squares (OLS) method does not give good estimates because it does not show normal distribution. The presence of more than expected zero values in the data set is defined as zero-inflation (Martin et al., 2006; Cui & Yang, 2009). In data sets where most of the observations are zero, excluding the zero values from the analysis causes to obtain incorrect results. Zero-inflation count data may lack equality of mean and variance. In such a case, over-dispersion or under-dispersion must be taken into account. When there are excessive zeros in the data set, new models are needed for such data because when there are many zeros in the sample, Poisson and negative binomial distributions cannot predict well enough. Therefore, Lambert (1992) first proposed the zero-inflation Poisson (ZIP) model with an application of manufacturing defects. Later, Green conducted a study in 1994 on taking excessive zeros and sample selection into account in Poisson and negative binomial regression models.

Famoye and Singh (2006) proposed the zero-inflation generalized Poisson (ZIGP) model, which is an extension of the generalized Poisson distribution. Another widely used method is the negative binomial model, which can be preferred in cases where the Poisson mean has a gamma distribution. A natural extension of the negative binomial model is the zero-inflation negative binomial (ZINB) model when there are excess zeros in the data (Mwalili et al., 2008).

When you want to use the zero-inflation regression model, first consider whether a conventional negative binomial model is good enough. Just the presence of too many zeros in the dataset doesn't mean you need a zero-inflation model. There are two types of zeros in the zero-inflation model, namely "real zeros" and "excess zeros". Of course, there are situations where a zero-inflation model makes sense in terms of theory or common sense. For example, if the dependent variable is the number of children born in a sample of women aged 50, it is reasonable to assume that some women are biologically infertile. For these women, no change in predictive variables can change the expected number of children (Allison, 2012).

Another popular approach to modeling excess zeros in count data is to use truncated models. The Hurdle model is an example of truncated patterns for census data (Cragg, 1971). A failure to account for the correct type of over or under dispersion leads to very different estimates of the regression parameters and incorrect inferences about the model parameters (McCullagh & Nelder, 1989; Ver Hoef & Boveng, 2007). In the literature, hurdle and ZIP models are widely used for analyzing count responses with excessive zeros. However, hurdle and ZIP models do not allow for underdispersion with excessive zeros, these models apply only when there is overdispersion in the response variable (Lee et al., 2016).

Zero-inflated count models offer a way of modeling the excess zeros in addition to allowing for overdispersion in a standard parametric model. However, the hurdle model is flexible and can handle under-dispersion, overdispersion, and excess zeros problem (Workie & Gedef, 2021).

Zero-inflated models are used in many studies to model data which has high zero density. Ridout et al. (1998) reviewed some zero inflated models and hurdle models and gave an example on biological count data. Yip and Yau (2005) studied on zero-inflated distributions for claim frequency and they used the generalized Pearson χ^2 statistic and information criteria. Greene (2005) has compared Zero Inflated and Hurdle Models. In this work, several extensions of the models are described and an application to health care demand data for comparison of the models is presented. Flynn (2009) compared traditional Poisson and Negative Binomial models with the Zero Inflated Models. Mouatassim and Ezzahid (2012) compared Poisson and zero-inflated Poisson model for health insurance and they used Vuong test for model comparison. A new zero-inflated regression model for zero-inflated count data and a new regression model so called Poisson quasi-Lindley regression model for over-dispersed count data are proposed by Altun (2018, 2019). Erdemir and Karadağ (2020) investigated models for count data with excessive zeros in non-life insurance.

There are also hurdle models as an alternative to zero-inflated models. Boucher et al. (2008) used compound frequency models and they examined different risk classification models for count data by using Score and Hausmann tests. Yang et al. (2012) proposed new link functions for hurdle Poisson and hurdle negative binomial to deal with zero-inflation, overdispersion and missing observations in clinical trials. Sarul and Şahin (2015) compared Poisson models, zero-inflated models and hurdle models for claim frequency data. Baetschmann and Winkelmann (2017) introduced a new dynamic hurdle model for zero-inflated count data. Sakthivel and Rajitha (2017) compared methods with back propagation neural network for modeling the count data which has excessive number of zeros by using mean square error for model selection.

Although there are many publications on overdispersion in the literature, fewer publications are made because under-dispersion is a less common situation. Conway-Maxwell-Poisson (COM-Poisson) distribution can handle under dispersed count data. It is a flexible distribution that can account for under dispersion usually encountered in some types of count data (Shmueli et al. 2005; Sellers and Shmueli 2010). In Figure 1, frequently used models in count data are given.

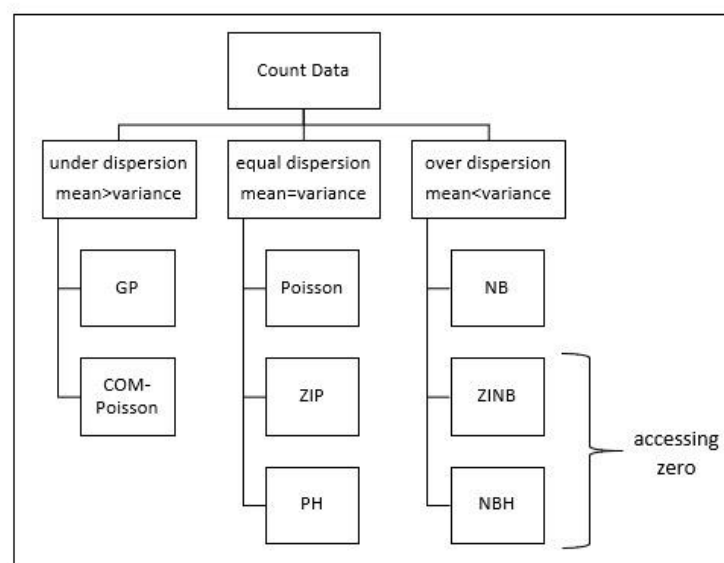


Figure 1. The Frequently Used Models in The Count Data Analysis

Hurdle models assume that there is only one process where zero can be generated, whereas zero-inflation models assume that there are two different processes that can produce zero. The first is the on-off part, which is a binary process. System π likely "off" and $1 - \pi$ - possibly "open" (where π is known as inflation probability). When the system is "off", only zero counting is possible. This part is the same for zero-inflation and Hurdle models. The second part is the counting part that occurs when the system is "on". This is where the Zero-inflation and Hurdle models differ. In zero-inflation models, the numbers can still be zero. In Hurdle models, they must be different from zero. For this section, zero-inflation models use a "normal" discrete probability distribution, while Hurdle models use a discrete probability distribution cut from zero.

To give an example to explain the Hurdle model; a car manufacturer wants to compare two quality control programs for its cars. It will compare them according to the number of warranty claims made. For each program, a randomly selected set of clients are monitored for one year and the number of warranty claims they file is counted. The "closed" state means "there is zero claim", "open" state means "at least one claim has been made". In the zero-inflation model, researchers discovered that some repairs on cars were fixed without filing a warranty claim. In this way zeros are a mixture of the absence of quality control problems as well as the presence of quality control problems involving no warranty claims. "closed" means "zero claims" while "open" means "at least one claim has been made or repairs have been done without a claim (James, 2014).

In count regression models, parameter estimates are commonly obtained using the Maximum Likelihood method (Karen & Kelvin, 2005). Information criteria such as Akaike information criterion (AIC) and Bayes information criterion (BIC) can be used to select the appropriate model. In addition, model comparisons with Vuong test statistics, which are widely used in zero-inflated models, are also made.

In the second section of this study, counting regression models are presented. In the third section, the model selection criteria used in the study are explained. In the 4th section, analyzes are made on a sample data set. In the 5th section, the results are evaluated.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Poisson Regression (PR)

When the dependent variable consists of discrete and non-categorical counting data, the first method used is Poisson regression analysis. In Poisson regression analysis, it is assumed that the dependent variable y_i shows a Poisson distribution (Deniz, 2005). Probability density function for Poisson distribution with λ parameter (Sinharay, 2010) is as follows;

$$f(y_i|x_i) = \frac{\lambda^{y_i} e^{-\lambda}}{y_i!}, \quad y_i = 0,1,2,\dots \quad (1)$$

In this expression, y_i is the number of occurrences of events, and λ is the rate of repetition of events per unit of time. In other words, λ gives the mean of the distribution. Here the probability changes as a function of the λ value. The Poisson probability distribution is slanted to the right. However, as λ_i grows, the distribution approaches the normal distribution. The Poisson distribution is mostly used to model the number of rare events occurring. The most prominent feature of the Poisson regression model is that mean and variance are equal to each other;

$$E(y) = \lambda \quad \text{and} \quad \text{Var}(y) = \lambda \quad (2)$$

Over or under-dispersion data sets cannot be modeled with the Poisson distribution because distortions are seen in the assumption that the conditional expected value is equal to the variance and the assumption is not satisfied. In practice, count variables show overdispersion, as they generally have greater variance than the average. The overdispersion of the data is caused by the number of observed zero values exceeding the zero values revealed by the Poisson model and unobserved heterogeneity (Kibar, 2008). The mean of the Poisson distribution, λ , is assumed to be a linear function of the arguments x_i . Poisson regression model can be given as follows;

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m = x_i' \beta \quad (3)$$

In this equation, λ_i is an exponential function of independent variables. The value of λ_i can be written as follows;

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m) = \exp(x_i' \beta) \quad (4)$$

Poisson regression is estimated by the maximum probability estimate. Log likelihood function of Poisson model (Shalabh, 2020);

$$LL_{Poisson} = \ln L(y, \lambda) = \sum_{i=1}^n y_i \ln(\lambda_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i - \sum_{i=1}^n \ln(y_i!) \quad (5)$$

After selecting the appropriate link function, the log likelihood function can be maximized for a given dataset using some numerical optimization techniques. The Poisson regression model usually requires a large sample.

In a Poisson model, the mean variance equality can be tested with the dispersion test. The test simply tests this assumption as a null hypothesis against an alternative where $\text{Var}(\lambda) = \lambda + c \cdot f(\lambda)$, the constant $c < 0$ means underdispersion and $c > 0$ means overdispersion. The function $f(\cdot)$ is some monoton function (often linear or quadratic; the former is the default). The resulting test is equivalent to testing $H_0: c=0$ vs. $H_1: c \neq 0$ and the test statistic used is a t statistic which is asymptotically standard normal under the null.

2.2. Negative-Binomial Regression (NBR)

Possible values of y_i in negative binomial regression are again non-negative integer values such as 0, 1, 2, ... etc. as in Poisson regression. Although negative binomial regression is a special case of Poisson regression, it is used as an alternative method in cases where zero values show overdispersion (or under-dispersion) in applications. Negative binomial regression is a generalization of Poisson regression where the variance is equal to the mean calculated by the Poisson model and which relaxes the restrictive assumption. The negative binomial distribution has one more parameter, different from the Poisson distribution. Therefore, the second parameter can be used to adjust the variance independently of the mean. This model is based on a Poisson-Gamma mixed distribution. The Poisson distribution can be generalized by including a gamma noise variable with mean l and scale parameter v . The negative binomial distribution of Poisson-Gamma mixture obtained with α spread parameter is as follows (NNCS, 2020),

$$P(y_i | \lambda_i, \alpha) = \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(y_i + 1) \Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\lambda_i}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{y_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\lambda_i = t_i \lambda, \quad \alpha = \frac{1}{v}$$

The expected value of the NBR model is $E(y) = \lambda$ and variance $Var(y) = \lambda + \alpha\lambda^2$ a quadratic function of the mean for $\alpha > 0$, equal to the Poisson variance if $\alpha = 0$. NBR model with t_i exposure time and $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ unknown parameters can be shown as follows;

$$\lambda_i = \exp(\ln(t_i) \beta_{1i} x_{1i} + \beta_{2i} x_{2i}, \dots, \beta_{ki} x_{ki}) \tag{7}$$

Regression coefficients are estimated using the maximum likelihood method (Cameron et al., 2013). The log likelihood function of the negative binomial model can be given as follows (Zwilling, 2013);

$$LL_{NB} = \ln L(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n (y_i \ln \alpha + y_i (\alpha_i \beta_i) - (y_i + \frac{1}{\alpha}) \ln(1 + \alpha e^{\alpha_i \beta_i}) + \ln \Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha}) - \ln \Gamma(y_i + 1) - \ln \Gamma(\frac{1}{\alpha})) \tag{8}$$

Parameters are obtained by iterative solution methods.

2.3. Zero-Inflated Poisson Regression (ZIP)

One of the alternative methods used to analyze over-dispersed data is the zero-value weighted Poisson regression (ZIP) model. Zero value weighted Poisson regression is also used in modeling the dependent variable when the data set contains more zero values than expected. In the ZIP model, it is assumed that its dependent variable consists of two different data groups. These are structural zeros that always come from the zero group and the values that always come from the non-zero group, that is, the group defined as sampling zero (Peng, 2013). ZIP regression can be written as follows to explain the excess zeros in the dependent variable y_i (Lambert, 1992),

$$Pr(y_i/x_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i) \exp(-\lambda_i), & y_i = 0, \\ (1 - \pi_i) \exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i} / y_i!, & y_i > 0. \end{cases} \tag{9}$$

In this model, $0 \leq \pi_i \leq 1$ and $\lambda_i > 0$. The mean of the ZIP model is shown as $E(y) = (1 - \pi)\lambda$ and its variance as $Var(y) = (1 - \pi)\lambda(1 + \pi\lambda)$. If $\pi = 0$, the ZIP model turns into PR. If $\pi_i > 0$, it is an indicator of overdispersion. The ZIP model is a two-piece model. From these parts, the log function is used to model positive numbers from both structural zero and sampling zero, as well as positive numbers from Poisson and negative binomial distributions. The other part is the logit function. This part is used to model the zeros in the data set (Peng, 2013). The log likelihood function for y_i dependent variable can be written as follows (Yau & Lee, 2001),

$$LL_{ZIP} = \sum_{i=1}^n \left(I_{y_i=0} \log(\pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i}) + I_{y_i>0} \log \left((1 - \pi_i) \frac{\lambda_i^{y_i} e^{-\lambda_i}}{y_i!} \right) \right) \tag{10}$$

$$= \sum_{i=1}^n I_{y_i=0} \log(\pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\lambda_i}) + I_{y_i>0} \log((1 - \pi_i) + y_i \log \lambda_i - \lambda_i - \log y_i!)$$

The I . expression given in equation 10 is the indicator function for the specified event. From here, the parameters λ_i and π_i can be obtained using the link functions.

$$\log(\lambda) = B\beta \tag{11}$$

and

$$\log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = G\gamma \quad (12)$$

In equations 11 and 12, B and G are covariant matrices and are unknown parameter vectors (Yau, 2002; Yeşilova et al., 2010). The parameters β and γ can be obtained using maximum likelihood estimates.

2.4. Zero-Inflated Negative Binomial Regression (ZINB)

Zero value weighted ZINB model is used as an alternative method in cases where there is zero weighted and overdispersion data sets. This model has been defined as an improved version of the NB model (Greene, 1994). As with the ZIP model, zero and non-zero observations are modeled separately. However, unlike ZIP regression, non-zero observations in ZINB are modeled by NB regression. An alternative regression method is ZINB in modeling the dependent variable y_i in the case of overdispersion with many zero values. The ZINB model equation is as follows (Ridout et al., 2001):

$$\Pr(y_i/x_i) = \begin{cases} \pi_i + (1 - \pi_i)(1 + \alpha\lambda_i)^{-\alpha^{-1}}, & y_i = 0, \\ (1 - \pi_i) \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha})}{y_i! \Gamma(\frac{1}{\alpha})} \frac{(\alpha\lambda_i)^{y_i}}{(1 + \alpha\lambda_i)^{y_i + \frac{1}{\alpha}}}, & y_i > 0. \end{cases} \quad (13)$$

In equation 13, the parameters π_i and λ_i depend on covariates and $\alpha > 0$ is an overdispersion parameter. The expected value of the ZINB model is shown as $E(y) = (1 - \pi)\lambda$ and its variance as $Var(y) = E(y)(1 + \alpha\lambda + \pi\lambda)$. In case of $\alpha > 0$ and $\pi > 0$, there is overdispersion. ZINB log likelihood function for y_i (Yau, 2002):

$$\begin{aligned} LL_{ZINB} &= L(\lambda, \alpha, \pi; y) = \sum_{i=1}^n (I_{y_i=0} \log(\pi_i + (1 - \alpha\lambda_i)^{-\alpha^{-1}})) \\ &+ I_{y_i>0} \log\left((1 - \pi_i) \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{\alpha})}{y_i! \Gamma(\frac{1}{\alpha})} \frac{(\alpha\lambda_i)^{y_i}}{(1 + \alpha\lambda_i)^{y_i + \frac{1}{\alpha}}} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n (I_{y_i=0} \log(\pi_i + (1 - \pi_i)(1 - \alpha\lambda_i)^{-\alpha^{-1}})) + I_{y_i>0} \\ &\quad \log\left((1 - \pi_i) \frac{1}{\alpha} \log(1 + \alpha\lambda_i) y_i \log(1 + \frac{1}{\alpha\lambda_i}) + \log\Gamma\left(y_i + \frac{1}{\alpha}\right) - \log\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) - \log y_i! \right) \end{aligned} \quad (14)$$

The I expression given in equation 14 is the indicator function for the specified event. λ_i and π_i parameters can be obtained by using link functions (Lambert, 1992).

$$\log(\lambda) = X\beta \quad (15)$$

and

$$\log\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = G\gamma \quad (16)$$

Here, X and G are covariate matrices, β and γ are unknown parameter vectors of dimensions $(p+1) \times 1$ and $(q+1) \times 1$, respectively. The parameters β and γ can be obtained using maximum likelihood estimates. Zero-inflation negative binomial models are not recommended for small samples. What constitutes a small sample is not clearly defined in the literature (Mamun, 2014).

2.5. Hurdle Regression

Hurdle models were first proposed by a Canadian statistician Cragg (1971), and later developed further by Mullahy (1986). These models are used for data sets with many zero values. Hurdle models consist of two stages. First, binary responses showing positive counts (1) versus zero counts (0); the second is the process in which only positive counts occur (Yeşilova et al., 2010). Binary responses are modeled using the logit connection function. Positive counts are modeled using the zero-value truncated counting model, that is, the log link function (Rose et al., 2006). In Hurdle models, Poisson Hurdle (PH) model is used if the counting part shows Poisson distribution, and NB Hurdle (NBH) model is used in case of negative binomial distribution (Gerdtham, 1997). The hurdle model is flexible and can handle both under and overdispersion problem. Hurdle models are widely used especially in healthcare applications.

2.5.1 Poisson Hurdle model (PH)

Positive observations based on truncated count data $y_i > 0$ are called the PH model when modeled using the poisson distribution. The Hurdle model is defined in the Poisson case as follows (Dalrymple et al., 2003):

$$\begin{aligned}
 P(y_i = 0/x) &= 1 - p(x), \\
 P(y_i = q/x, z) &= \frac{p(x) \exp(-\lambda(z)) \lambda(z)^q}{q! (1 - \exp(-\lambda(z)))}, \quad q = 1, 2, \dots
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

In equation 17, x and z are covariate matrices. In this equation, $p(x)$ ve $\lambda(z)$ are modeled using logit and log-linear functions respectively. The Hurdle model formulation is very similar to the ZIP model but the Hurdle model keeps the class zero from the non-zero by modeling the non-zero y_i 's with a truncated Poisson distribution. It is expressed as $\lambda(z)$ and p_i ,

$$\log(1 - \lambda(z)) = x_i' \beta,
 \tag{18}$$

and

$$\text{logit}(p_i) = z_i' \alpha
 \tag{19}$$

β and α given in equation 18 and equation 19 are unknown parameter vectors respectively. The mean of the PH model is shown as $E(y) = (1 - \pi)E(Y|Y > 0) = (1 - \pi) \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda}}$ and its variance as $Var(y) = (1 - \pi)var(Y|Y > 0) + \pi(1 - \pi)[E(Y|Y > 0)]^2$. For PH, the log likelihood function is written as:

$$\begin{aligned}
 LL_{PH} &= \sum_{y_i > 0} x_i \beta - \sum_{i=0}^n \log(1 + \exp(x_i \beta)) \\
 &+ \sum_{y_i > 0} [y_i z_i \alpha - \exp(z_i \alpha) - \log(1 - \exp(-\exp(-\exp(z_i \alpha)))) - \log(y_i !)] \\
 &= LL(\beta) + LL(\alpha)
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

The parameters β and α can be obtained using maximum likelihood estimates.

2.5.2. Negative binomial Hurdle model (NBH)

If there is additional zero-inflation in the NB model, NBH model is used among other alternative models. The probability function of the Negative Binomial Hurdle Model is as follows (Sarul & Şahin, 2015):

$$\Pr(y_i/x_i) = \begin{cases} \pi_0 & , y_i = 0 \\ (1 - \pi_i) \frac{g}{1 - (1 + \alpha\lambda)^{-\alpha^{-1}}} & , y_i > 0 \end{cases} \quad (21)$$

where $g = g(y; \lambda, \alpha) = \frac{\Gamma(y + \alpha^{-1})}{(y+1)\Gamma(\alpha^{-1})} (1 + \alpha\lambda)^{-\alpha^{-1} - y\alpha\lambda^y}$. The mean of the NBH model is shown as $E(y) = (1 - \pi) \frac{\lambda}{1 - (1 + \alpha\lambda)^{-\frac{1}{\alpha}}}$ and its variance as $Var(y) = (1 - \pi)var(Y|Y > 0) + \pi(1 - \pi)[E(Y|Y > 0)]^2$. The log likelihood function of NBH:

$$LL_{NBH} = \ln(f(0)) + \{\ln[1 - f(0)] + \ln P(t)\} \quad (22)$$

In equation 22, $f(0)$ represents the probability of the binary part and $p(j)$ the probability of a positive count. The probability of zero when using the logit model,

$$f(0) = P(y = 0; x) = \frac{1}{1 + \exp(xb1)} \quad (23)$$

and

$$1 - f(0) = P(y > 0; x) = \frac{\exp(xb1)}{1 + \exp(xb1)} \quad (24)$$

For both parts of the NBH model, the log likelihood function can be written as (Yeşilova et al., 2010):

$$\begin{aligned} LL_{NBH} = & cond\{y = 0, \ln\left(\frac{1}{1 - \exp(xb1)}\right), \ln\left(\frac{\exp(xb1)}{1 + \exp(xb1)}\right) \\ & + y * \ln\left(\frac{\exp(xb)}{1 + \exp(xb)}\right) - \ln\left(\frac{1 + \exp(xb)}{\alpha}\right) + \ln\Gamma\left(y + \frac{1}{\alpha}\right) - \ln\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \\ & - \ln(1 - (1 + \exp(xb))\left(-\frac{1}{\alpha}\right))\} \end{aligned} \quad (25)$$

3. MODEL SELECTION

Pearson statistics, deviance statistics (Deviance), Log-likelihood(LL), Akaike Information Criteria (AIC) and Bayes Information Criteria (BIC) are commonly used criteria in testing the goodness of fit of regression models. Since LL, AIC, BIC and Vuong statistics are used in this study, these statistics are explained below.

3.1. Log Likelihood (LL)

The log likelihood (LL) test is one of the most widely used tests for comparing different models. The LL test can be used to test for the presence of overdispersion. To test the Poisson model against GP model, where α is the overdispersion parameter, the hypothesis is expressed as $H_0: \alpha = 0$ and $H_1: \alpha \neq 0$. Probability ratio statistics is calculated as;

$$LL = 2(\ln L_1 - \ln L_0) \quad (26)$$

Where L_1 and L_0 are the log likelihood under the respective hypothesis. LL has an asymptotic chi-square distribution with one degree of freedom (Wang & Famoye, 1997). When choosing the model over LL value, the model with the largest log-likelihood value is determined as the appropriate model.

3.2. Akaike Information Criteria (AIC)

This criterion, which is widely used to compare different models is;

$$AIC = -2\log(\mathcal{L}) + 2k \quad (27)$$

In this equation, \mathcal{L} is the maximum value of the log likelihood function; k represents the number of explanatory variables. Among the existing models, the model with the smallest AIC value is selected as the appropriate model. In cases where the number of parameters is larger than the sample size, the AICc proposed by Hurvich and Tsai should be used instead of AIC. This value can be written as follows (Akaike, 1973; Sugiura, 1978; Hurvich & Tsai, 1989);

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} = \frac{2kn}{n-k-1} - 2\ln(L) \quad (28)$$

3.3. Bayes Information Criterion (BIC)

Akaike proposed the BIC (Bayesian Information Criterion) model selection criterion for selected model problems in linear regression (McQuarrie & Tsai, 1998). AIC and BIC criteria are usually given together. Equality regarding the Bayesian measure of knowledge is as follows:

$$BIC = -2\log(\mathcal{L}) + k\log(n) \quad (29)$$

As with the AIC, the model with the lowest BIC value among the available models is selected as the appropriate model.

3.4. Vuong Statistic (V)

The Vuong test statistic is used to compare two models' fit to the same data with maximum probability. Specifically, it tests the null hypothesis arguing that the two models fit the data equally well. Vuong statistics is calculated as follows (Vuong, 1989);

$$V = \frac{\bar{m}\sqrt{n}}{sd(m)} \quad (30)$$

Where \bar{m} is the mean of m_i , $sd(m)$ represents the standard deviation and n represents the sample size. m_i is expressed as follows:

$$m_i = \ln \left(\frac{p_{1i}(y_i)}{p_{2i}(y_i)} \right) \quad (31)$$

Vuong test statistics has a standard normal distribution. If the significance level is taken as $\alpha = 0.05$ and if $V > 1.96$, it means that the first model is closer to the real model, yet, if $V < -1.96$, then it means that the second model is closer to the real model. If the calculated value is not between ± 1.96 , then it means that there is no difference between using the first or the second model.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

The data set used in the current study is from Hemmingsen et al. (2005), who investigated the number of parasites in a study carried out for three years in four regions off the coast of Norway. The "intensity" variable, which indicates the number of parasites, was taken as the dependent variable. Independent variables are the variables of depth, weight, length, age, and area. Original observation values consist of 1254 data. But some observation values were excluded because they did not exist. As in the current study the dependent variable was count data and the analyses were made for PR, NBR, ZIP, ZINB, PH and NBH models. To evaluate the goodness of fit of the models, log likelihood, AIC, BIC and Vuong statistics values were calculated. Stata and RStudio were used for analysis. The histogram for the distribution of the number of parasites (intensity) is given in Figure 2. The distribution conforms to the Poisson distribution. Descriptive statistics are given in Table 1.

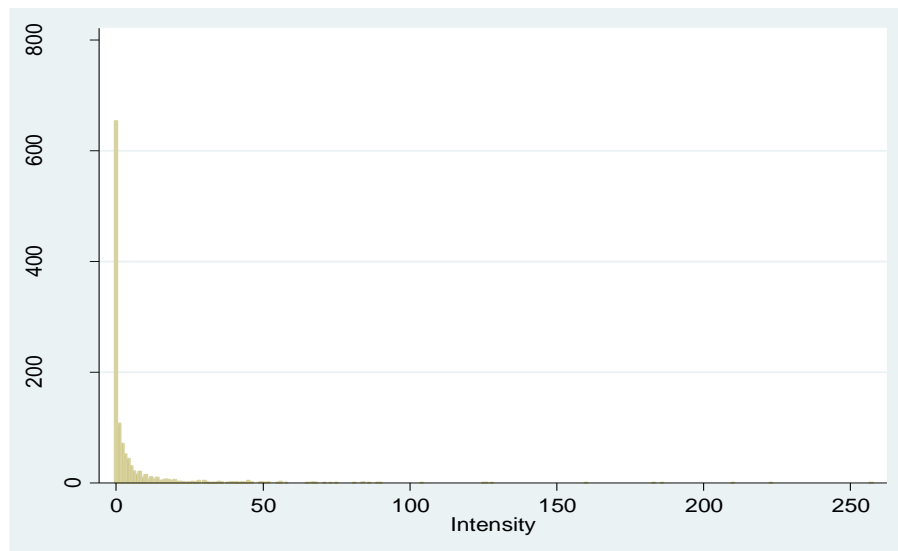


Figure 2. Frequency Distribution of Parasites Numbers (Intensity)

Table 1. Descriptive Statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Intensity	1191	6.209.068	1.964.186	0	257
Depth	1191	1.763.115	7.174.705	50	293
Weight	1191	1.717.688	1355.43	34	9990
Length	1191	5.353.065	1.418.831	17	101
Age	1191	4.118.388	190.539	0	10
Area	1191	256.843	1.078.504	1	4

4.1. Poisson Regression (PR)

Poisson regression is often used in modeling census data. However, in order for this model to be used, it must conform to the Poisson distribution and show an equal spread. That is, the mean of the dependent variable must be equal to its variance. The results obtained for the Poisson regression analysis are given in Table 2.

Table 2. Poisson Regression Analysis

Poisson regression				Number of obs = 1,191		
				LR chi2(5) = 5086.40		
Log likelihood = -11316.054				Prob > chi2 = 0.0000		
				Pseudo R2 = 0.1835		
Intensity	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Depth	.0041254	.0001935	21.31	0.000	.003746	.0045047
Weight	-.0002165	.0000321	-6.74	0.000	-.0002795	-.0001535
Length	-.0272516	.0025701	-10.60	0.000	-.0322889	-.0222144
Age	.1241356	.0112843	11.00	0.000	.1020188	.1462523
Area	.5170952	.0140313	36.85	0.000	.4895943	.544596
_cons	.7040017	.0929926	7.57	0.000	.5217395	.8862639

When the Poisson regression model was examined, all variables were found to be statistically significant ($p \leq 0.05$). The presence of overdispersion was tested using the "dispersiontest" function of the AER package of the R software ($z = 2.9025$, $p\text{-value} = 0.001851$, $\text{dispersion}(c) = 2.786516$). Thus, in data set, overdispersion was detected. In some cases, a misspecified model may present a symptom such as an overdispersion problem. A common cause of overdispersion is excess zeros which are generated by an additional data generation process. In this case, the zero-inflation model should be considered.

The zero.test function of the "vcdExtra" package of the R software was used to test whether the Poisson distribution is suitable for processing zero frequencies in the data set (Chi-square = 178219.44184, $df = 1$, $p\text{value} < 2.22e-16$).

4.2. Negative Binomial Regression (NBR)

The results obtained for the negative binomial regression analysis are given in Table 3.

Table 3. Negative Binomial Regression Analysis

Negative binomial regression				Number of obs = 1,191		
Dispersion = mean				LR chi2(5) = 129.74		
Log likelihood = -2543.4871				Prob > chi2 = 0.0000		
				Pseudo R2 = 0.0249		
Intensity	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Depth	.007029	.0012848	5.47	0.000	.0045109	.009547
Weight	-.0000879	.0001376	-0.64	0.523	-.0003576	.0001818
Length	-.0421083	.0147863	-2.85	0.004	-.0710888	-.0131277
Age	.2211496	.0553297	4.00	0.000	.1127053	.3295938
Area	.2487281	.0632454	3.93	0.000	.1247694	.3726868
_cons	1.117.684	.5818868	1.92	0.055	-.0227928	2.258.161
/lnalpha	1.654.779	.0541407			1.548.665	1.760.893
alpha	5.231.923	.2832601			4.705.185	5.817.629

Likelihood-ratio test of alpha=0: $\chi^2(01) = 1.8e+04$ Prob>= $\chi^2 = 0.000$

NBR can be used for overly distributed count data; that is, when conditional variance exceeds conditional mean. When the model was examined, the variables other than the "weight" variable were found to be significant. In this model, alpha ($\alpha=5,231$) represents the dispersion parameter. The Poisson model is the model in which this α value is limited to zero. In other words, when the dispersion parameter is zero, the negative binomial distribution is equal to the Poisson distribution. Here it was found quite different from zero. A common cause of overdispersion is excessive zeros caused by an additional data generation. In this case, the zero-inflation model should be considered again.

4.3. Zero Inflated Poisson Regression (ZIP)

In the data set, 651 observations among 1191 observations consist of zeros. For this reason, the ZIB model was tried. The results obtained for the zero-inflated Poisson regression analysis are given in Table 4.

Table 4. Zero-inflated Poisson Regression Analysis

Zero-inflated Poisson regression				Number of obs = 1,191		
				Nonzero obs = 540		
				Zero obs = 651		
Inflation model = logit				LR chi2(5) = 3255.91		
Log likelihood = -7157.201				Prob > chi2 = 0.0000		
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Intensity						
Depth	.0013499	.0002057	20.607	0.000	.0009467	.0017531
Weight	.0001842	.0000319	5.78	0.000	.0001217	.0002467
Length	-.058611	.0027065	-21.66	0.000	-.0639157	-.0533063
Age	.083538	.0113188	7.38	0.000	.0613535	.1057225
Area	.3155613	.01262	25.00	0.000	.2908266	.340296
_cons	3.761.493	.0976798	38.51	0.000	3.570.044	3.952.942
inflate						
Depth	-.0066406	.0009475	-7.01	0.000	-.0084977	-.0047836
Weight	.0004211	.0001239	3.40	0.001	.0001782	.0006639
Length	-.0287779	.0124624	-2.31	0.021	-.0532037	-.0043521
Age	-.1218325	.0504857	-2.41	0.016	-.2207826	-.0228824
Area	-.0576589	.0627729	-0.92	0.358	-.1806915	.0653738
_cons	2.834.424	.4768654	34.455	0.000	1.899.785	3.769.063

Vuong test of zip vs. standard Poisson: $z = 11.19$ $Pr > z = 0.0000$

Zero-inflated Poisson regression model given in Table 4 is statistically significant ($Prob > chi2 = 0.000$). The first model gave similar results to Poisson regression analysis. However, in the second model, the variable "Area" was found to be insignificant.

Vuong testing compares the ZIP model with a classical Poisson regression model. Significance of the Z test indicates that the ZIP model is better ($z = 11.19$ $Pr > z = 0.0000$). This model has both a count model and a logit model. According to the ZIP model, all the "inflate" variables except for "Area" were found to be significant. The ZIP model can be applied both when the zero observation values are too high and when there is equal dispersion.

4.4. Zero Inflated Negative Binomial Regression (ZINB)

ZINB distribution was applied as there were both overdispersion and zero values in the data set. The results obtained for the zero-inflated negative binomial analysis are given in Table 5.

Table 5. Zero-inflated Negative Binomial Regression Analysis

Zero-inflated negative binomial regression				Number of obs = 1,191		
Inflation model = logit				Nonzero obs = 540		
Log likelihood = -2491.515				Zero obs = 651		
				LR chi2(5) = 92.13		
				Prob > chi2 = 0.0000		
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Intensity						
Depth	.001893	.001355	14.611	0.162	-.0007629	.0045488
Weight	-.0001165	.00014	-0.83	0.405	-.0003908	.0001578
Length	-.0397358	.015112	-2.63	0.009	-.0693549	-.0101168
Age	.211129	.0540591	3.91	0.000	.1051752	.3170828
Area	.3065592	.0655921	24.563	0.000	.1780011	.4351173
_cons	44.318	.6164726	3.33	0.001	.8417357	3.258.264
inflate						
Depth	-.1295182	.0338827	-3.82	0.000	-.195927	-.0631093
Weight	.0004932	.0005902	0.84	0.403	-.0006637	.0016501
Length	-.0207498	.0739934	-0.28	0.779	-.1657742	.1242746
Age	-.1258854	.2887396	-0.44	0.663	-.6918047	.4400338
Area	125.639	.4016089	41.334	0.002	.4692512	2.043.529
_cons	1.050.094	3.156.974	12.114	0.001	431.338	1.668.849
/lnalpha	1.449.799	.0608788	23.81	0.000	1.330.478	1.569.119
alpha	4.262.257	.2594811			3.782.853	4.802.416

Vuong test of zinb vs. standard negative binomial: $z = 6.54$ $Pr > z = 0.0000$

Again in this model, the significance of the coefficient values changed. The Vuong test compares the ZINB model with a classical NB model. Significance of the Z test ($z = 6254$ $Pr > z = 0.0000$) indicates that the ZINB model is better.

4.5. Hurdle Regression

4.5.1 Poisson logit Hurdle regression (PH)

One of the models used when there are too many zeros in the observation values is the PH regression model. Care should be taken in interpreting these models because λ is not the expected result, but the mean of a fundamental distribution containing zeros. The results obtained for the PH model are given in Table 6.

Table 6. Poisson Logit Hurdle Regression Analysis

Poisson-Logit Hurdle Regression				Number of obs = 1,191		
Log likelihood = -7155.9229				Wald chi2(5) = 83.50		
				Prob > chi2 = 0.0000		
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
logit						
Depth	-.0066536	.0009462	-7.03	0.000	-.0085081	-.0047992
Weight	.0004247	.0001237	3.43	0.001	.0001822	.0006672
Length	-.0286749	.0124465	-2.30	0.021	-.0530695	-.0042803
Age	-.1228605	.0503524	-2.44	0.015	-.2215493	-.0241716
Area	-.0598937	.0627175	-0.95	0.340	-.1828177	.0630303
_cons	2.838.815	.4763591	5.96	0.000	1.905.168	3.772.462
Poisson						
Depth	.0013485	.0002057	6.56	0.000	.0009454	.0017516
Weight	.0001815	.0000321	5.65	0.000	.0001186	.0002445
Length	-.0585348	.0027151	-21.56	0.000	-.0638564	-.0532132
Age	.0839956	.0113305	7.41	0.000	.0617882	.1062031
Area	.316694	.0126652	25.01	0.000	.2918707	.3415173
_cons	3.755.515	.0979291	38.35	0.000	3.563.577	3.947.452

4.5.2 Negative binomial logit Hurdle regression (NBH)

Since there was overdispersion in the observation values, the analysis was done with the negative binomial Hurdle model.

Table 7. Negative Binomial-Logit Hurdle Regression

Negative Binomial-Logit Hurdle Regression				Number of obs = 1,191		
Log likelihood = -2513.7673				Wald chi2(5) = 83.50		
				Prob > chi2 = 0.0000		
	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
logit						
Depth	-.0066536	.0009462	-7.03	0.000	-.008508	-.0047992
Weight	.0004247	.0001237	3.43	0.001	.0001822	.0006672
Length	-.0286749	.0124465	-2.30	0.021	-.0530695	-.0042803
Age	-.1228604	.0503524	-2.44	0.015	-.2215493	-.0241716
Area	-.0598937	.0627175	-0.95	0.340	-.1828177	.0630303
_cons	2.838.814	.476359	5.96	0.000	1.905.168	3.772.461
neg binomial						
Depth	.0023168	.0014701	1.58	0.115	-.0005647	.0051982
Weight	.0001738	.0001714	1.01	0.311	-.0001621	.0005098
Length	-.0768143	.018983	-4.05	0.000	-.1140202	-.0396084
Age	.2018122	.0639428	42.430	0.002	.0764865	.3271378
Area	.2809381	.0733809	3.83	0.000	.1371142	.424762
_cons	3.402.976	.7766218	4.38	0.000	1.880.825	4.925.127
/lnalpha	1.670.232	.2715551	6.15	0.000	1.137.994	220.247

The variables "Area" in the logit part of the model, "Depth" and "Weight" in the negative binomial part are insignificant while the other variables are significant.

5. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

Commonly used models in count data are PR and NB models. The applicability of PR to the data obtained based on the count depends on the fact that the mean and variances of the data set are equal. A greater than average variance indicates overdispersion in the data set. In this case, different count data models are used. Among these, NB is the most preferred model.

In the count data, the dependent variable also takes the value zero. In this case, analyzes can be made by determining inflate variables. Zero dispersion occurs when there are more than expected zero values in the data set. Count data with zero inflated and (or) overdispersion is common in a wide variety of disciplines. In case of zero inflated, it is appropriate to use ZIP, ZINB, PH, NBH or generalized models. In count models, the distribution parameter is used to see if there is overdispersion. In addition, the Vuong test is applied to compare non-nested models. In the model selection, according to the Chi-square (χ^2) distribution with one degree of freedom table value, the model with the largest LL and the smallest AIC and BIC values is determined as the best model. In the current study, 6 different models were tested on the sample data set and a comparison was made in terms of LL, AIC and BIC values. Among these models, the smallest AIC and BIC and the largest LL values were found for the ZINB model. Table 8 gives the results collectively.

Table 8. Information Criteria for Models

Count Models	LL	AIC	BIC
PR	-11316.054	22644.11	22674.6
NB	-2543.4871	5100.974	5136.552
ZIP	-7157.201	14338.4	14399.39
ZINB	-2491.515	5009.029	5075.102
PH	-7155.9229	14335.85	14396.84
NBH	-2513.7673	5053.535	5119.608

When PR and NB distributions are compared, NB distribution gives smaller AIC, BIC, which is an expected result. In this study, among 1191 observations, 540(45.34%) observations consist of positive values and 651(54.66%) observations consist of zeros. Therefore, analyzes were obtained for zero-inflated models. When Hurdle model and zero inflated models are compared, it is seen that better results are obtained for zero-inflated models.

As a result, while building a model, we must consider all other alternative methods including the simpler count models such as PR and NB models. In terms of the results obtained, the goodness of criteria, the Vuong statistics, and LL tests were parallel to each other. We concluded that ZIP model is superior to the standard PR model and ZINB model is superior to NB in this study. Studies in the literature support this result. Results also showed that estimated regression coefficients and standard errors differed across different models. However, it is more reasonable to say that which model is the best for the data depends on the data structure. Also statistical software packages have recently developed a procedure to fit zero-inflated models.

Contribution of the Authors

The contributions of the authors to the article are equal. In this study, Öznur İŞÇİ GÜNERİ contributed to the creation of the idea for the article, conducting the necessary research and examination, analysis, interpretation, and writing the article. Burcu DURMUŞ contributed to the research, data collection, literature review, and the creation of graphics and figures. Aynur İNCEKIRIK contributed to writing the formulas, interpretation, development of references, and language of the article.

Thank

Assisting with the R program in the study, we would like to thank Assoc. Prof. Dr. Nevin GÜLER DİNÇER.

Conflict of Interest Statement

The authors have no conflicts of interest to declare. All co-authors have seen and agree with the contents of the manuscript, and there is no financial interest to report.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics have complied in this study.

REFERENCES

- Akaike, H. (1973). *Information theory and an extension of the Maximum Likelihood Principle*. Second International Symposium on Information Theory. Budapest, Academiai Kiado, 267-281.
- Allison, P. (2012). Do we really need zero-inflated models? Retrieved April 15, 2021 from <https://statisticalhorizons.com/zero-inflated-models>
- Altun, E. (2018). A new zero-inflated regression model with application. *Journal of Statisticians: Statistics and Actuarial Sciences*. 11(2), 73-80.
- Altun, E. (2019). A new model for over-dispersed count data: Poisson Quasi-Lindley regression model. *Mathematical Sciences*. 13(3). 241-247.
- Baetschmann, G. & Winkelmann, R. (2017). "A dynamic Hurdle model for zero-inflated count data. *Communications in Statistics-Theory and Methods*. 46(14), 7174-7187.
- Boucher, J.P. & Denuit, M. (2008). Credibility premiums for the zero-inflated Poisson model and new hunger for bonus interpretation. *Insurance: Mathematics and Economics*. 42, 727-735.
- Cameron, A.C. & Trivedi, P.K. (2013). Regression analysis of count data, Econometric society monograph (2nd Edition). *Cambridge University Press*. England.
- Cragg, J.G. (1971). Some statistical models for limited dependent variables with application to the demand for durable goods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 829-844.
- Cui, Y. & Yang, W. (2009). Zero-inflated generalized Poisson regression mixture model for mapping quantitative trait loci underlying count trait with many zeros. *Journal of Theoretical Biology*. 256, 276-285.

- Dalrymple, M.L., Hudson, I.L. & Ford, R.P.K. (2003). Finite mixture, zero-inflated Poisson and Hurdle models with application to SIDS. *Computational Statistics & Data Analysis*, 41, 491-504.
- Deniz, Ö. (2005). Poisson regresyon, *Istanbul Commerce University Journal of Science*. 4(7), 59-72.
- Denuit, M., Maréchal, X., Pitrebois, S. & Walhin, J.F. (2007). Actuarial modelling of claim counts: risk classification, credibility and bonus-malus systems. *John Wiley & Sons*.
- Erdemir, Ö.K. & Karadağ, Ö. (2020). On comparison of models for count data with excessive zeros in non-life insurance. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(3), 1543-1553.
- Famoye, F. & Singh, K.P. (2006). Zero-inated generalized Poisson regression model with an application to domestic violence data”, *Journal of Data Science*, 4(1), 117-130.
- Flynn, M. (2009). More flexible GLMs zero-inflated models and hybrid models. *Casualty Actuarial Society E-Forum*, 148-224, Retrieved June 12, 2021 from https://www.casact.org/pubs/forum/09wforum/flynn_francis.pdf
- Gerdtham, U.G. (1997). Equity in health care utilization: further tests based on Hurdle models and Swedish micro data. *Health Economics*, 6, 303-319.
- Greene, W. (2005). Functional form and heterogeneity in models for count data. *Foundations and Trends in Econometrics*. 1(2), 113-218.
- Greene, W.H. (1994). Accounting for excess zeros and sample selection in Poisson and negative binomial regression models. *NYU Working Paper*. No. EC-94-10.
- Hemmingsen, W., Jansen, P.A. & MacKenzie, K. (2005). Crabs, leeches and trypanosomes: an unholy trinity? *Marine Pollution Bulletin*, 50(3), 336-339.
- Hofstetter, H., Dusseldorp, E., Zeileis, A. & Schuller, A.A. (2016). Modeling caries experience: advantages of the use of the Hurdle model. *Caries Research*, 50(6), 517-26.
- Hurvich, C.M. & Tsai, C. (1989). Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika*, 76, 297-307.
- James, D. (2014). What is the difference between zero-inflated and Hurdle models? Retrieved April 16, 2021 from <https://stats.stackexchange.com/questions/81457/what-is-the-difference-between-zero-inflated-and-hurdle-models>
- Karen, C.H.Y. & Kelvin, K.W.Y. (2005). On modeling claim frequency data in general insurance with extra zeros. *Mathematics and Economics*. 36, 153-163.
- Khoshgoftaar, T.M., Gao, K. & Szabo, R.M. (2005). Comparing software fault predictions of pure and zero-inflated Poisson regression models. *International Journal of Systems Science*. 36(11), 707-715.

- Kibar, F.T. (2008). *Trafik kazaları ve Trabzon bölünmüş sahil yolu örneğinde kaza tahmin modelinin oluşturulması* [Master Thesis]. Karadeniz Technical University Graduate Institute of Natural and Applied Sciences. Trabzon.
- Lambert, D. (1992). Zero-inated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, 34(1), 1-14.
- Lee, Y., Moudud, A., Noh, M., Rönnegård, L. & Skarin, A. (2016). Spatial modeling of data with excessive zeros applied to Reindeer Pellet-group counts. *Ecology and Evolution*, 6, 7047–7056
- Mamun, A. (2014). *Zero-inflated regression models for count data: an application to under-5 deaths* [Master Thesis]. Ball State University Muncie. Indiana.
- McCullagh, P. & Nelder, J.A. (1989). *Generalized Linear Models (Second Edition)*. Chapman and Hall, New York, USA.
- McQuarrie, A.D.R. & Tsai, C. (1998). *Regression and time series model selection*. World Scientific Publishing Company. Singapore.
- Mouatassim, Y. & Ezzahid, E.H. (2012). Poisson regression and zero-inflated Poisson regression: Application to private health insurance data. *European Actuarial Journal*, 2(2), 187-204.
- Mullahy, J. (1986). Specification and testing of some modified count data models. *Journal of Econometrics*, 33(3), 341-365.
- Mwalili, S.M., Lesaffre, E. & Declerck, D. (2008). The zero-inflated negative binomial regression model with correction for misclassification: An example in caries research. *Statistical Methods in Medical Research*, 17(2), 123-139.
- NNCS Statistical Software (2020). Negative binomial regression, Chapter 326. Retrieved April 15, 2021 from https://ncss-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/NCSS/Negative_Binomial_Regression.pdf
- Peng, J. (2013). *Count data models for injury data from the national health interview survey* [Master Thesis]. The Ohio State University Graduate Program in Public Health, Columbus.
- Ridout, M., Demetrio, C.G.B. & Hinde, J. (1998). *Models for count data with many zeros*. International Biometric Conference, Cape Town, Retrieved June 12, 2021 from https://www.kent.ac.uk/smsas/personal/msr/webfiles/zip/ibc_fin.pdf.
- Ridout, M., Hinde, J. & Demetrio, C.G.B. (2001). A score test for a zero-inflated Poisson regression model against zero-inflated negative binomial alternatives. *Biometrics*, 57, 219-233.
- Rose, C.E, Martin, S.W., Wannemuehler, K.A. & Plikaytis, B.D. (2006). On the of zero-inflated and Hurdle models for modeling vaccine adverse event count data. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*, 16, 463-481.

- Sakthivel, K.M. & Rajitha, C.S. (2017). A comparative study of zero-inflated, Hurdle models with artificial neural network in claim count modeling. *International Journal of Statistics and Systems*. 12(2), 265-276.
- Sarul, L.S. & Şahin, S. (2015). An application of claim frequency data using zero inflated and Hurdle models in general insurance. *Journal of Business, Economics and Finance*, 4(4), 732-743.
- Sellers, K.F. & Shmueli, G. (2010). A flexible regression model for count data. *Annals Applied Statistics*. 4(2), 943-961.
- Shalabh, K. (2020). Poisson regression models, Chapter 15. Retrieved April 12, 2021 from <http://home.iitk.ac.in/~shalab/regression/Chapter15-Regression-PoissonRegressionModels.pdf>
- Shmueli, G., Minka, T.P., Kadane, J.B., Borle, S. & Boatwright, P. (2005). A useful distribution for fitting discrete data: revival of the conway-maxwell-Poisson distribution. *Applied Statistics*, 54, 127–142.
- Sinharay, S. (2010). Discrete probability distributions, ETS. *Elsevier*. Princeton, NJ, USA.
- Sugiura, N. (1978). Further analysts of the data by Akaike's Information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics-Theory and Methods*. 7(1),13-26.
- Ver Hoef, J.M. & Frost, K.J. (2003). A bayesian hierarchical model for monitoring Harbor seal changes in Prince William Sound, Alaska. *Environmental and Ecological Statistics*, 10, 201–219.
- Vuong, Q.H. (1989). Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses. *Econometrica*. 57, 307-333.
- Wang, W. & Famoye, F. (1997). Modeling household fertility decisions with generalized Poisson regression, *Journal of Population Economics*.10, 273-283.
- Workie, M.S. & Gedef, A.A. (2021). Bayesian zero-inflated regression model with application to under-five child mortality. *Journal of Big Data*. 8(4), 1-23.
- Yang, J., Li, X. & Liu, G.F. (2012). Analysis of zero-inflated count data from clinical trials with potential dropouts”, *Statistics in Biopharmaceutical Research*. 4(3), 273-283.
- Yau, K.K.W. & Lee, A.H. (2001). Zero-inflated Poisson regression with random effects to evaluate an occupational injury prevention programme. *Statistics in Medicine*, 20, 2907-2920.
- Yau, Z. (2002). *Score tests for generalization and zore-inflation in count data modeling* [Unpublished Ph.D. Thesis]. University of South Caroline. Columbia.
- Yeşilova, A., Kaydan, M.B. & Kaya, Y. (2010). Modeling insect-egg data with excess zeros using zero-inflated regression models. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 39(2), 273-282.
- Yip, K.C. & Yau, K.K. (2005). On modeling claim frequency data in general insurance with extra zeros. *Insurance: Mathematics and Economics*, 36(2), 153-163.

Zwilling, M. L. (2013). Negative binomial regression. *The Mathematica Journal, Wolfram Media*. 15, 1-18.



Araştırma Makalesi / Research Article

**KABATAŞ-BAĞCILAR TRAMVAY HATTI ARAÇ GÜRÜLTÜ
ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ***

**KABATAS-BAGCILAR TRAM LINE VEHICLE NOISE MEASUREMENT
AND EVALUATION**

Fırat TOPARLI¹

Yalçın EYİGÜN²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
firat.toparli@metro.istanbul

Geliş Tarihi / Received
17.03.2021

Kabul Tarihi / Accepted
12.08.2021

Öz

Bu çalışmada, kentiçi raylı sistemlerin gelişimi ve önemi, kentiçi raylı sistem araçlarının özellikleri, bu araçların çevreye yaydığı gürültüler ve bu gürültülerin insan sağlığı üzerindeki etkisi detaylandırılmıştır. Raylı sistemlerin gürültü ölçüm standartlarından ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nden bahsedilmiştir.

Kabataş-Bağcılar tramvay hattında çalışan araçların oluşturduğu gürültüler, raylı sistem gürültü standartlarına ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre ölçülmüştür. Araçlarda yolcuların maruz kaldığı gürültülerin şartnamelerde çoğunlukla belirlenmiş sınırların içerisinde olup olmadığı ölçülmeye çalışılmıştır. T1 Hattı'nda çalışan araçlar incelendiğinde şartnamelerde belirlenen üst limitleri büyük çoğunlukla uyduğu, ancak Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne uymadığı durumlar tespit edilmiştir. Gürültü Kontrol Yönetmeliği ve araç şartnamelerinde belirtilen durumlar kıyaslanmış mevcut farkları ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, gürültü ölçümleri, kentiçi raylı sistemler, tramvay.

Abstract

In this study, the development and importance of urban rail systems, the characteristics of urban rail system vehicles, the noise emitted by these vehicles to the environment and the effects of these noises on human health are detailed. Noise measurement standards of rail systems and Noise Control Regulation are mentioned.

The noise generated by the vehicles operating on the Kabataş-Bağcılar tram line was measured according to the rail system noise standards and the Noise Control Regulation. It has been tried to measure whether the noises that the passengers are exposed to in the vehicles are within the limits mostly determined in the specifications. When the vehicles operating on the T1 Line are examined, it has been determined that the upper limits determined in the specifications mostly comply, but they do not comply with the Noise Control Regulation. The situations specified in the vehicle specification and Noise Control Regulation were compared and the existing differences were revealed.

Keywords: Noise, noise measurement, urban railway systems, tramway.

*Bu yayın Fırat TOPARLI 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, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye. firat.toparli@metro.istanbul, [Orcid.org/0000-0003-2232-2214](https://orcid.org/0000-0003-2232-2214).

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye. yeyigun@ticaret.edu.tr, [Orcid.org/0000-0001-9931-8294](https://orcid.org/0000-0001-9931-8294).

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz on yıllarda insanların kentlere göç etme eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu eğilimin temel unsurlarını ekonomi, sosyoloji, teknoloji oluşturmaktadır. Günümüzde gerek ekonomik, gerek teknolojik gerekse siyasal veya sosyolojik nedenlerden dolayı toplumların şehirlerde yaşamayı daha çok tercih ettikleri bilinen bir gerçektir (Baştürk, 2014). İnsanlar kırsal alanlarda bulamadıkları ekonomik refahı ve konforu kentlerde bulmaya çalışmıştır. Kentlere göç tercihi nüfus yoğunluğunu da arttırmıştır. Ulaşım noktasında idarecilerin çözümleri toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve cazip hale getirilmesidir. Amaç belirlenmiş sürelerde kitleleri bir noktadan bir noktaya en hızlı ve güvenli şekilde ulaştırmaktır. Kentiçinde trafik kapasitesi, trafik hacmi, trafik yoğunluğu, kentiçi ulaşımda kullanılacak sistemin belirlenmesinde ana verileri oluşturmaktadır. Dünya genelinde bazı farklılıklar gösterse de günümüzde kentlerin ulaşım ihtiyaçlarını büyük oranda lastik tekerlekli araçlar ile raylı sistemler oluşturmaktadır. Türkiye’de kentiçi ulaşımın belkemiğini karayolu sağlamaktadır (Çelik ve ark., 2014). Nüfusun az olduğu kentlerde ulaşım büyük oranda lastik tekerlekli araçlarla sağlanırken, nüfusun çok fazla olduğu kentlerde lastik tekerlekli araçlarla bütünleşik bir şekilde raylı sistemler kullanılmaktadır. Kentiçi raylı toplu taşıma sistemleri 19. yüzyıl sonları-20. yüzyıl başlarında ulaşımda pay edinmeye başlamıştır ve kent içerisinde ulaşımdaki payını her geçen gün arttırmaktadır. 19. yüzyıl ortalarında şehir içi ulaşımında atlı arabalar kullanıldığı için demiryolu ulaşımına fazla rağbet olmamıştır. Daha sonraki yıllarda kişileri şehir içinde daha hızlı, kolay ve ucuz bir biçimde taşıyabilmek amacıyla demiryolları kendini yenilemiş ve küçük birimli hızlı tramvay kent içinde yaygınlaşmıştır (Toprak & Aktürk, 2002). Raylı sistemler günümüze kadar ulaşım ağlarını sürekli olarak geliştirdikleri ve iyileştirdikleri görülmektedir. Özellikle kentiçi nüfusunun artması, şehirlerdeki yeterli alan eksikliği otobüs, otomobil seyahatlerinin konforunu düşürmektedir. Araç sayısındaki fazlalık, karayolu toplu taşımayı kullanan ya da şahsi araçla seyahat eden vatandaşların saatlerce yollarda olmalarına sebebiyet vermektedir. Bu durumun sıklıkla yaşanması vatandaşları kentiçi raylı sistem alternatiflerini kullanmaya teşvik etmektedir. Raylı sistem alternatiflerini kullanan yolcular, yolculukları esnasında gürültüye maruz kalmaktadır.

Bu çalışmada, T1 Bağcılar-Kabataş hattında çalışan tramvay araçlarının yaydığı gürültünün şartnamelerde belirtilen hususları sağlayıp sağlamadığı gürültü ölçüm standartları kullanılarak ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ayrıca Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nin kentiçi raylı sistem araçları için belirlemiş olduğu ölçüm kriterleri kullanılarak gürültü üst sınırlarının Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nin belirlemiş olduğu limitler içerisinde olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda karşılaştırma yapılarak tespit edilen eksiklikler dile getirilmiştir.

1.1. Kentiçi Raylı Sistemler İncelemesi

Günümüzde hızlı kentleşme, hava kirliliği, enerji ihtiyacı, yoğun nüfus artışı ulaşımı üzerinde durulan en önemli konulardan biri haline getirmiştir. Ulaşım alternatifleri içerisinde bu sorunu raylı sistemlerle çözmeye neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Raylı sistem taşımacılığının ilk yatırım maliyeti yüksek olmakla birlikte, çevre kirliliğine diğer ulaşım araçlarından daha az sebep olur. Elektrikli raylı sistem araçları diğer ulaşım tiplerine göre daha çok çevre dostudur (Palacin, 2014). Bununla birlikte en önemli çıktısı olan yolcu taşıma kapasitesi karayolu taşımacılığına kıyasla çok daha yüksektir. Bu koşullar raylı sistem taşımacılığın yaygınlaşmasını ve tercih edilmesini hızlandırmıştır. Kentiçi raylı sistemleri sınıflandırırken en önemli kriter yolcu kapasitesidir. Yolcu kapasitesiyle birlikte;

- Ticari hız,
- Setteki vagon sayısı,
- İvmelenme Özelliği,
- Sinyalizasyon sınıflandırma da önemli bir yer tutar.

Kentiçi raylı sistemler 4 ana başlıkta toplanabilir. Metro, tramvay, hafif metro (LRT), monorail.

1.1.1. Metro

Kendine ait özel bir yolu ve raylı sistem araçları bulunan, hiçbir şekilde diğer sistemler ile yolları kesişmeyen kapalı bir sistemdir. Metroların asıl amacı kalabalık şehirlerdeki ulaşımını yerin altına inşa edilen yollar, tüneller yardımı ile ulaşım sağlamaktır. Fakat zemin etüdünden veya başka nedenlerden kaynaklanan durumlarda, metronun yolları yer üstüne çıkabilmektedir. Kendi içinde kapalı bir yapıdır. Yaygın olarak dünya genelinde büyük şehirlerde kullanılır. Genellikle 2-10 vagon dan oluşan sistemlerdir. Günümüzde 4 vagon dan az metro hatları çok kısıtlıdır. Diğer kentiçi raylı sistem araçlarına kıyasla çok daha fazla yolcu taşır. 90 saniyeye düşen sefer sıklıkları ve 2000 kişiye varan kapasite ile diğer raylı sistemlerden çok daha yüksek performans sahiptir (Arlı, 2010).

1.1.2. Tramvay

Genellikle yer üstünde bulunan havai hattan, (katener hattı) pantograf yardımıyla aktarımı sağlanan 750 VDC gerilimleri ile çalışan raylı sistem araçlarıdır. Tramvaylar çoğunlukla 2 araçlıdır. Yolcu yoğunluğunun fazla olduğu hatlarda 3 araçlı çalıştırılması tercih edilir. Bir saatte, tek bir yönde taşımacılığı, metroya göre daha az olup, 5.000 – 15.000 yolcu sayısı olarak değişmektedir. Çıkabilecek en yüksek hızları genelde 50 km/sa'tir. Diğer raylı sistem araçlarına göre olumsuz tarafı, tramvayların kara yolları ile kesişme bölgelerinin bulunmasıdır. Bundan dolayı tramvaylar tasarlanırken acil fren ivmesi $2,8 \text{ m/s}^2$, hızlanma ivmesi $1,2 \text{ m/s}^2$ – $1,4 \text{ m/s}^2$ olacak şekilde olmasına dikkat edilmektedir. Karayolu ile bütünleşik olmasının en önemli kusuru kazaya karışma ihtimalinin yüksek olmasıdır. Karayolu ile bütünleşik olmasından kaynaklı özellikle karayolu araçlarının kavşak bölgelerinden geçişleri esnasında tramvay ile temas etme durumu söz konusudur. Karayoluna aynı seviyede döşenen raylar üzerinde hareket ettiğinden mevcut karayolu trafik düzenine uymak zorunda olup bu araçlara geçit ve kavşaklarda karayolu araçlarına göre geçiş üstünlüğü sağlanmaktadır (Armstrong & Wright, 1986).

1.1.3. Hafif metro

Esas olarak tramvayın modernleştirilmiş halidir denilebilir. Bu sistemlerin temel amacı, şehir dışındaki banliyö trenlerin duraklarından aldığı yolcuları, şehir merkezine ulaşımını sağlamasıdır. Ancak büyük kentlerde doğrudan kentiçinde ulaşımı sağlamak için kullanılmaktadır. Çıkabileceği en yüksek hızlar, yerleşim yerlerinde 60 km/sa - 80 km/sa olarak değişmektedir. Bir saatte, tek yönde 10.000 – 35.000 yolcu taşımaktadır. Tramvay sistemlerine oranla daha yüksek yolculuk kapasitesine sahip sistemlerdir, saatteki maksimum yolculuk kapasiteleri 35.000 yolcu/yön şeklindedir (Baştuğ, 2014). Dizi halinde çalıştırılan genellikle 2-4 vagonlu yer seviyesinde ya da yükseltilmiş yollarda, karayollarından ayrılmış, kendine ait bir yolu olan kent içi elektrikli ulaşım aracıdır.

1.1.4. Monorail

Kendine ait özel olarak dizayn edilmiş, yüksek seviyeli çelik veya beton kolonlara asılı bir şekilde inşa edilmiş üst yollardan gider. Ray yolu, kapalı bir kutu şeklinde (alttan asılı) veya aracın kapattığı, ata biner gibi üzerinde oturduğu, (üstten giden) olmak üzere iki türlü inşa edilebilir. Hızı 80 km/sa'ti geçmeyecek şekilde sınırlandırılmıştır.

1.2. Gürültü

Gürültü: Gelişigüzel bir yapısı olan bir ses spektrumudur ki, öznel olarak, istenmeyen ses biçiminde tanımlanır (GKY, 1986).

Gürültü ölçen alete sonometre denir. Gürültü ölçümlerinde ibare olarak ses basınç düzeyi kullanılır. Sesin insan kulağına göre şiddetini belirleyen ölçü oranı desibeldir (dB).

Kentçi ulaşım sistemlerde gürültünün ana kaynağı olarak trafik gürültüsü ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte raylı sistem araçlarından kaynaklı oluşan gürültü önemli bir yer edinmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Gürültü Kaynakları Yüzdeleri (MEB, 2011).

Trafik	50%
Raylı Sistemler	18%
Uçaklar	13%
Sanayi	6%
Komşular	3,50%
İnşaat	3%
Açık Hava	2,50%
Diğer Kaynaklar	4%
Önemli Gürültü Kaynakları	

Gürültü ile ilgili kamu bilincinin oluşması, fonksiyonel türüne bağlı olarak çevresel gürültü sınırlayıcı seviyelerinin getirilmesi için mevzuatların oluşmasına neden olmuştur (Tutmez & Baranovskii, 2019). Kentçi ulaşım sistemlerinde özellikle trafik gürültüsünün insan yaşam kalitesi üzerinde ciddi etkileri vardır, bu sebeple mevzuatlara konu olan gürültü üst limitlerinin sağlanıp sağlanmadığı ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Sharaf ve Reyouf 2021 yılındaki yaptığı çalışmada ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) modelini kullanarak Kuveyt'teki bir çevre yolunda trafik gürültü ölçümlerini alarak incelemiştir. Bununla birlikte Türkiye'de de ANN (Artificial Neural Networks, ve ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) metotları kullanılarak birçok çalışma ortaya koyulmuştur. Atalay ve Unal 2017 Yılında yaptıkları çalışmada ANN ve ANFIS metotlarını kullanarak Erzurum'da gürültü ölçümleri alıp değerlendirmeler yapmışlardır.

Gürültünün belirli bir yapısı yoktur. İçerdiği öğelerle kişiyi bedensel ve ruhsal olarak olumsuz etkiler. İşitme sağlığını bozar. İş performansını olumsuz etkiler, çevrenin sakinliğini ve hoşnutluğunu yok eder. Çevreye önemli derece de rahatsızlık verir. İnsan gürültüye uyum sağlamada zorlanmaktadır. Gürültü insan sağlığını bozmasının yanında, birçok kayba sebebiyet olur. Gerek gerçek hayatta gerekse laboratuvar ortamlarındaki deneylerde gürültünün insanları psikolojik ve davranışsal açıdan birçok rahatsızlığa sevk ettiği kanıtlanmıştır (Kryter, 1984). Gürültü, insan sağlığı açısından yüksek risk taşımaktadır; gürültü rahatsızlığı neticesinde kişilerde stress, huzursuzluk, baş ağrısı, konsantrasyon eksikliği, kardiyovasküler rahatsızlıklar, uykusuzluk gibi psikolojik ve fizyolojik etkiler ortaya çıkarmaktadır (Yener, 2017).

1.2.1. Raylı sistemlerde gürültü kaynakları

Raylı sistemlerde gürültü konusu son zamanlarda üzerinde çok durulan konuların başında gelmektedir. Kısa zaman aralığında başlayıp biten gürültüye nazaran raylı sistem araçlarının gürültüsü uzun süren karaktere sahiptir. İnsan organizması, ani değişikliklere daha hassas davranır. Bu sebeple raylı sistem gürültüsü ani değişiklikten kaynaklı gürültüler kadar rahatsızlık vermez.

Ulaşım araçları içerisinde çevre gürültüsü etkisi bakımından, en az rahatsızlık veren ulaşım sistemi raylı sistemlerdir. Günümüzde şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan raylı sistem araçlarının birçoğu elektrikli. Bu sebeple çevreye yayılan gürültü daha azdır. Raylı sistemlerde iki önemli gürültü kaynağı vardır. Araç gürültüsü; tren kornası, elektrik motorları, dizel motoru, diğer ekipman gürültüsü (klima gibi), tekerlek-ray etkileşiminden kaynaklanan gürültüler; yuvarlama, darbe etkisi, kızaklama (kayma) raylı sistemlerdeki gürültü kaynaklarıdır.

Raylı sistem araçlarında klimalar, yardımcı güç sistemleri ve tahrik motorları sürekli gürültü oluştururlar. Elektrikli lokomotifler dizellere göre daha sessizlerdir. Ancak elektrikli lokomotiflerde ısınan ekipmanları soğutmak için kullanılan büyük fanlar, düşük hızlarda yüksek gürültü üretirler. Ulaşım araçları arasında raylı sistem araçları önemli ölçüde düşük gürültü kirliliği açısından çevre dostu olarak tanımlanır ancak, son yıllarda karayolu trafiğinden sonra Avrupa’da ikinci en baskın çevresel gürültü kirliliği kaynağı haline gelmiştir (EU, 2002). Raylı sistemlerden kaynaklı oluşan gürültü birçok ülkede son yıllarda mevzuatlara konu olmuş ve raylı sistem gürültüsü ile ilgili mevzuatların yazılmasına neden olmuştur.

Raylı sistemlerin çevreye yaydığı gürültüler belirli seviyenin altında olması gerekmektedir. Gürültü seviyesinin üst limitleri yazılan araç şartnamelerinde belirtilir. Raylı sistem standartları dışında birçok ülke kendi yönetmeliklerini yayınlamıştır. Yayımlanan yönetmeliklerdeki eksiklikler birçok akademisyeni araştırmaya yöneltmiştir. Wosniacki ve Zannin 2021 yılında yayınladıkları çalışmada Ponto Grossa’da (Brezilya) ISO 1996-1 (2016) ve NBR 16425-1 (2016a) gürültü ölçüm standartlarını kullanarak ölçümler gerçekleştirmiş ve yönetmelikle uyumu karşılaştırılmıştır. Gürültü Kontrol Yönetmeliği Türkiye’de gürültü üst sınırlarını belirtmiştir. Bu çalışmada, Türkiye’de raylı sistem teknik şartnamelerinde referans gösterilen ISO 3095 standardı kullanılarak ölçümler alınmış ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nin belirlemiş olduğu ölçüm yöntemleri ile yapılan gürültü ölçümleri kıyaslanmıştır. Bu bağlamda bu çalışma bir ilktir. Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nin eksikliklerini ve şartnamelerle atıfta bulunulan ISO 3095 ile tutarsızlığının ortaya koyulması açısından önemlidir. Ayrıca bu çalışma, Türkiye’de raylı sistem araçları için yazılacak olan teknik şartnameleri de yönlendirmesi açısından önemli olacaktır.

Raylı sistemlerin çevreye yaydığı gürültüler belirli seviyenin altında olması gerekmektedir. Gürültü seviyesinin üst limitleri yazılan araç şartnamelerinde belirtilir. Raylı sistem standartları dışında birçok ülke kendi yönetmeliklerini yayınlamıştır. Gürültü Kontrol Yönetmeliği Türkiye’de gürültü üst sınırlarını belirtmiştir.

1.3. Gürültü Ölçüm Standartları

Raylı sistem araçları dış gürültü ölçümleri alınırken uluslararası kabul edilen ISO 3095 standardı kullanılmaktadır. Bu standarda değinmekle birlikte, Gürültü Kontrol Yönetmeliği de aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. Raylı sistem araçlarında şartnameler hazırlanırken uluslararası kabul gören standartlara atıfta bulunarak gürültü değerleri belirlenir. Bu standartlar raylı sistemlerde araç içi ve araç dışı gürültü ölçümlerinin hangi şartlar altında nasıl alınması gerektiğini belirler. Ölçümün kaç defa tekrar edileceği, hangi noktalardan ölçümlerin alınması gerektiği, mikrofona kadar açık bir şekilde belirtilmektedir.

1.3.1. ISO 3095 standardı

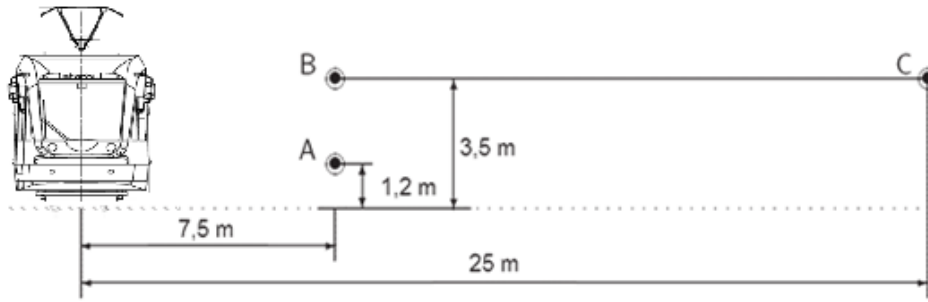
ISO 3095 (Acoustics-Railway Applications-Measurement of Noise Emitted by Railbound Vehicles), 2013 Third Edition (Raylı Sistem Araçların Yaydığı Gürültü Ölçüm Standardı) standardı uluslararası standartlardan biri olan araç dışı gürültü ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiğini ifade eden bir standarttır. Demiryolu dış gürültüsüne hem açık yol boyunca hem de depolar, duraklar, istasyonlar ve diğer bekleme yerlerinin içinde ve çevresinde gürültünün nasıl

ölçülmesi gerektiğini ortam ve araç şartlarının ne olması gerektiğini, ölçüm araç ve gereçlerinin kısıtlarını belirler. Bu standartla araç tekeri yuvarlanma gürültüsü, darbe gürültüsü, çekiş gürültüsü, frenleme sesi, korna sesi ve yardımcı ekipman ve diğer bileşenlerden gelen gürültülerin ölçüm kriterlerini belirtir. Bu kriterlere aşağıda değinilmiştir.

Araç normal çalışma koşullarında olmalı ve sabit hızda test için tekerlekleri normal koşullarda normal trafikte en az 3000 km (veya tramvay ve metrolar için 1000 km) normal koşullarda çalışmış olmalıdır. Tekerlek yüzeyinde apleti denilen aşınmalar, yığılmalar olmamalıdır. ISO 3095'e göre ölçüm şartları için çevre koşulları önemli yer edinmektedir. Özellikle testin kabul edilebilir olması için test yapılacak çevrede kar, uzun bitki örtüsü gibi ses emici maddeler; su, buz, asfalt veya beton gibi yansıtıcı örtüler bulunmamalıdır. Test esnasında gürültü yayılma yolunda hiçbir emici malzeme olmamalıdır.

Her ölçüm pozisyonu, rayın üst yüzeyinin 1,2 m ve 3,5 metre yukarısında, pistin merkez hattından 7,5 metre mesafede yer almalıdır.

Ölçüm süresi 20 saniyedir, ancak ölçü şartlarının sürekli stabil kalmadığı durumlarda 5, 15 saniye arasında ölçüm alınabilir bu durum da raporda belirtilir. Ölçüm noktaları aşağıda Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. EN 3095 Mikrofon Konumları (ISO 3095, 2013).

1.3.2. Gürültü kontrol yönetmenliği

Yönetmenliğin amacı; kişilerin huzur ve sükununu beden ve ruh sağlığını gürültü ile bozmayacak bir çevrenin geliştirilmesini sağlamaktır (GKY, 1986). Bu amaca uygun olarak gürültü ile ilgili terimlerin tanımı ile gürültü kontrolünün uygulanacağı sınırların belirlenmesi esaslarını kapsar. Gürültü Yönetmenliği, 9 Ağustos 1983 tarih ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 14. Maddesi hükmüne dayanılarak hazırlanmıştır (GKY, 1986). Yönetmenlik belediye ve mücavir alan sınırları içinde ve dışındaki alanlarda uygulanır. Yönetmenliğin, kendi yetki alanları içerisinde uygulanmasından, mahallin en büyük mülki amirleri belediyeler ve köy tüzel kişilikleri sorumludur. Mahallin en büyük mülki amiri, belediyeler ve köy tüzel kişilikleri teknik konularda Mahalli Çevre Kurullarının görüşünü alabilirler ve yardım isteyebilirler.

Yönetmenlikte raylı sistem araçları gürültüsünün en fazla kaç Leq (dBA) olması gerektiği belirtilmiştir. Yer altı istasyonlarında, yer üstü istasyonlarında, platformlar için, duran ve kalkan araçlar için, çalışır durumda bekleyen araçları için limit değerler yönetmelikte belirtilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Raylı Sistem Araçları Gürültü Üst Limitleri (GKY, 1986).

Yeraltı İstasyonları	Leq (dBA)	Yerüstü İstasyonları	Leq (dBA)
Gişeler, Merdivenle, Koridorlar	55	Platformlar (platform kenarından 1.8 m.de)	70
Platformlar (platform kenarından 1.8 m.de)		Duran-kalkan trenler	75
Duran ve Kalkan Trenler için	80	Çalışır durumda bekleyen trenler	65
Geçen trenler için	85		
İstasyon içinde vantilasyon sistemi	55		

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İştirak Şirketi, Metro İstanbul A.Ş. tarafından işletilen T1 Tramvay Hattı'nda çalışan Alstom Tramvay Araçları ve Bombardier Tramvay Araçları gürültü ölçümleri için kullanılmıştır. Svantek Svan 971 Tip 1 cihazı gürültü ölçümlerinde kullanılmıştır. Raylı sistem standartlarından biri olan ISO 3095 gürültü standardı gürültü ölçümlerinde uygulanmıştır. Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin raylı sistemler başlığında ifade edilen ölçüm yöntemleri gürültü ölçümlerinde kullanılmıştır.

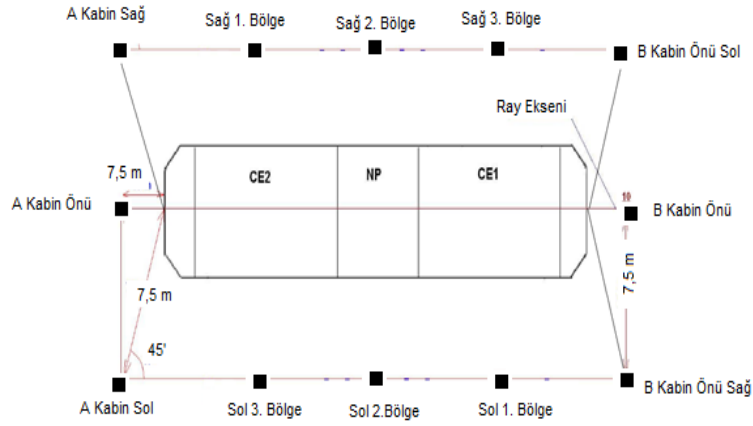
2.2. Yöntem

Bu çalışmada T1 Bağcılar-Kabataş hattında çalışan 814, 754, 828, 704 numaralı araçların ISO 3095 ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre gürültü ölçümleri alınmıştır. Alstom Tramvay Araçları Teknik Şartnamesi kıyaslama için örnek şartname olarak kullanılmıştır. Araç şartnameleri hazırlanırken gürültü üst sınırları şartnameyi yazan kişilerce belirlenir. Çoğunlukla uluslararası kabul gören bazı standartlara atıfta bulunulur. Üst sınırlar belli başlı kilometrelere göre değişim gösterebilir. Ölçüm için standartlar referans gösterilir. Aşağıda Alstom Teknik Şartnamesi'nde yazan bazı bilgiler paylaşılmıştır.

Alstom Tramvay Araçları Teknik Şartnamesi'nde, "Dış Gürültü Ölçümleri ISO 3095'e göre yapılacaktır. Tüm yardımcı ekipmanlar ayı anda çalışırken araçtan yayılan gürültü seviyesi aşağıdaki belirtilen seviyeyi geçmeyecektir (Alstom Teknik Şartname, 2007).

- Araç sabit, boş 70 dBA

Alınan ölçümlerde, ölçüm mesafesinin ve ölçüm yüksekliğinin gürültü şiddetine etkisi karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Araçların farklı bölgelerinden ölçümler alınarak, ilgili bölgelerdeki ekipmanların gürültü şiddetine etkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Ölçüm alınan örnek noktalar aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Araç Dışı Ölçüm Noktaları

7,5 metre uzaklıkta alınan ölçümler dışında 1,2 metre yükseklikte ve 1,8 metre uzaklıkta ölçümler alınmıştır. Bu değerler kıyaslanmıştır.

3. UYGULAMA

Araç dışında ilk ölçümler 17 Eylül Perşembe günü saat 07:30'da alınmaya başlanmıştır. İlgili zamanda rüzgar hızı 3,6 km/sa olarak ölçülmüştür. Hava parçalı bulutlu, sıcaklık 18 °C, nem %83, basınç 1015,0 mb'dır. Basınç ve nem değerleri ilgili tarihteki hava durumu raporundan alınmıştır. Ölçümler raylı sistem standardı olan ISO-3095'e göre yapılmıştır. Bunun dışında Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen hususlara göre de ölçümler alınmıştır. Ölçümler Metro İstanbul'un Zeytinburnu Yerleşkesindeki Araç Parklanma Alanı'nda yapılmıştır. Araç park edildikten sonra etrafında 30 metreye kadar her hangi bir engel mevcut değildi.

3.1. 1,2 Metre Yükseklikte Alınan Ölçümler

Metro İstanbul Araçları'ndan olan ve T1 hattında çalışan Alstom Marka Tramvay araçlarından rastgele seçilen 814 numaralı araçta araç dışı ölçümler alınmıştır. ISO-3095'e göre alınan ölçümler aşağıda Tablo 3'te paylaşılmıştır.

Tablo 3. 814 Araç Dışı Gürültü Ölçümleri 7,5 Metre

814 7,5 METRE 1,2 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1. ÖLÇÜM	2. ÖLÇÜM	3. ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	58,4	57	58,1	59
A Kabin Sağ	60,6	60	60,3	60
A Kabin Sol	58,7	58,9	58,2	59
Sağ 1.Bölge	59,5	58,6	59,1	59
Sağ2.Bölge	59,2	59,2	58,8	59
Sağ 3.Bölge	61,3	61,1	60,9	61
B Kabin Önü Sol	60,8	60,4	60,5	61
B Kabin Önü	56,6	56,5	56,7	57
B Kabin Önü Sağ	59,8	60,1	59,8	60
Sol 1.Bölge	61,5	61,1	60,9	61
Sol 2.Bölge	59,5	59,9	59,6	60
Sol 3.Bölge	58,5	58,9	59	59

814 Numaralı araçta elde edilen ölçümler şartnamelerde yazılan üst limit 70 dBA'in altında ölçülmüştür. Ortalama 60 dBA'dır. Ölçümler bakanlığın açıklamış olduğu yönetmeliğe göre de alınmıştır. 814 numaralı araçta 1,8 metre uzaklıkta ve 1,2 metre yükseklikte alınan ölçümler aşağıdaki gösterilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. 814 Araç Dışı Ölçümleri 1,8 Metre

814 1,8 METRE 1,2 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	59,9	61	60	60
A Kabin Sağ	64,1	65,2	64,9	65
A Kabin Sol	69,2	69	69	69
Sağ 1.Bölge	63,1	63	63,3	63
Sağ2.Bölge	60,2	60,4	61,1	61
Sağ 3.Bölge	62,1	63,3	62,7	63
B Kabin Önü Sol	64,6	64,9	64,8	65
B Kabin Önü	59,6	59,3	59,1	59
B Kabin Önü Sağ	65,7	65,5	65,4	66
Sol 1.Bölge	63,6	63,6	63,2	63
Sol 2.Bölge	62,1	62,1	62	62
Sol 3.Bölge	64,9	64	63,3	64

Çevre Bakanlığının Gürültü Yönetmeliği'nde alınan ölçümlere göre A kabin sağ, A kabin Sol, B Kabin Önü sol, B kabin Önü sağ gürültü şiddetleri 65 dbA ve üzerinde ölçülmüştür (Tablo3). Bakanlığın belirttiği platformdan itibaren 1,8 metrede çalışan trenler için belirttiği üst sınır olan 65 dBA'in üzerinde değerlerdir. Tablo 3 incelendiğinde ölçüm değerlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Araçların ilgili bölgelerinde farklı ekipmanlar olduğundan ölçüm değerleri farklı çıkmıştır. B Kabin sol gürültü şiddeti 69 dBA ölçülmüş olup en yüksek değerdir, Tablo 3'te bu değer görülmektedir. Bunun sebebi ilgili bölgede yardımcı güç sisteminin olmasıdır. Yardımcı güç sistemini soğutan fanlar bu bölgededir.

Metro İstanbul araçlarından T1 Hattında çalışan Bombardier Tramvay Araçlarından rastgele seçilen 754 numaralı araçta 1,2 metre yükseklikte ölçümler alınmıştır.

754 numaralı araçta alınan ölçümler ISO-3095 standardına göre alınmıştır, ayrıca bakanlığın yayınlamış olduğu yönetmeliğe göre de ölçümler alınmıştır. ISO-3095 standardına göre 754 numaralı araçta 7,5 metre uzaklıkta ve 1,2 metre yükseklikte alınan ölçümler aşağıda Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. 754 Araç Dışı Gürültü Ölçümleri 7,5 Metrede

754 7,5 METRE 1,2 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	57,1	56,6	56,7	57
A Kabin Sağ	58,7	58,8	58,4	59
A Kabin Sol	59,6	59,5	59,2	59
Sağ 1.Bölge	61,7	61,7	61,8	62
Sağ2.Bölge	63	63,2	63	63
Sağ 3.Bölge	65,9	64,9	64,8	65
B Kabin Önü Sol	60,4	60,9	60,6	61
B Kabin Önü	57,4	57,4	57,3	57
B Kabin Önü Sağ	58,7	58,8	58,8	59
Sol 1.Bölge	62,4	62,4	62,3	62
Sol 2.Bölge	64	63,9	64,1	64
Sol 3.Bölge	64,2	64,2	64,5	64

7,5 Metrede alınan ölçümler incelendiğinde en yüksek değer 65 desibel olarak ölçülmüştür. Şartnamelerde 70 desibel olarak belirtilen maksimum değer in altındadır. Sağ 3. Bölge’de en yüksek değer in çıkma sebebi ilgili kısımda yardımcı güç sistemi ve bu sistemi soğutan fanların bu bölgede olmasıdır.

Çevre Bakanlığının Gürültü Yönetmeliği’ne göre de belirtilen 1,8 metre uzaklıkta alınan ölçümler aşağıda Tablo 6’da gösterilmiştir.

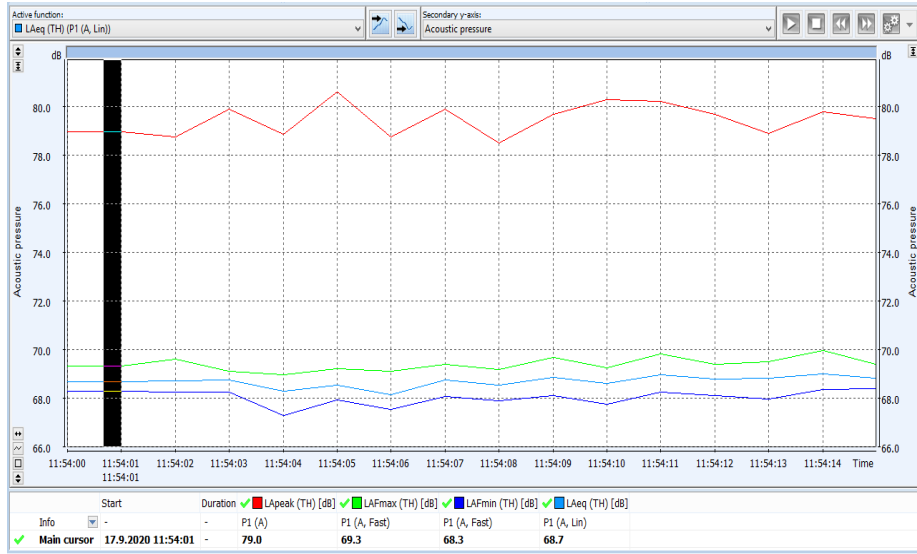
Tablo 6. 754 Araç Dışı Ölçümleri 1,8 Metrede

754 1,8 METRE 1,2 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	57,3	57,4	57,4	57
A Kabin Sağ	58,8	58,3	58	58
A Kabin Sol	59,8	60,5	59,8	60
Sağ 1.Bölge	62,3	62,2	62,4	62
Sağ2.Bölge	63,8	63,9	63,8	64
Sağ 3.Bölge	68,5	68,7	68,7	69
B Kabin Önü Sol	62,8	62,5	62,3	63
B Kabin Önü	57,4	57,8	57,1	57
B Kabin Önü Sağ	60	59,9	59,9	60
Sol 1.Bölge	63,4	63,5	63,9	64
Sol 2.Bölge	65	64,9	65,1	65
Sol 3.Bölge	64,2	64,1	64,4	64

Ölçümlerde en yüksek değer 68,7 desibel çıkmıştır. Ortalama alınıp yuvarlandığından 69 desibel olmaktadır. Yönetmeliğin duran araçlar için belirlemiş olduğu maksimum 65 desibelin üzerinde ölçüm alınmıştır. Burada yönetmeliğe uygun olmayan durum söz konusudur. Tablo 5 ve Tablo 6 karşılaştırıldığında Tablo 5’te ölçülen değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi 1,8 metre uzaklıkta alınan ölçümlerin gürültü kaynağına daha yakın olmasından kaynaklıdır. Gürültü kaynağına yaklaştıkça gürültü şiddeti artmaktadır. Tablo 4 ve Tablo 5 incelendiğinde en

çok gürültünün Sağ 3.Bölge de ölçüldüğü görülmektedir. Bunun sebebi ilgili bölgede hem yolcu klimasının varlığı hem de yardımcı güç sisteminin bu bölgeye yakın olmasıdır. Yolcu klimaları ve yardımcı güç sistemi fanları araçlarda en çok gürültü yayan ekipmanlardır.

754 Numaralı araçta gürültü ölçüm cihazından alınan grafik aşağıda paylaşılmıştır (Şekil 3).

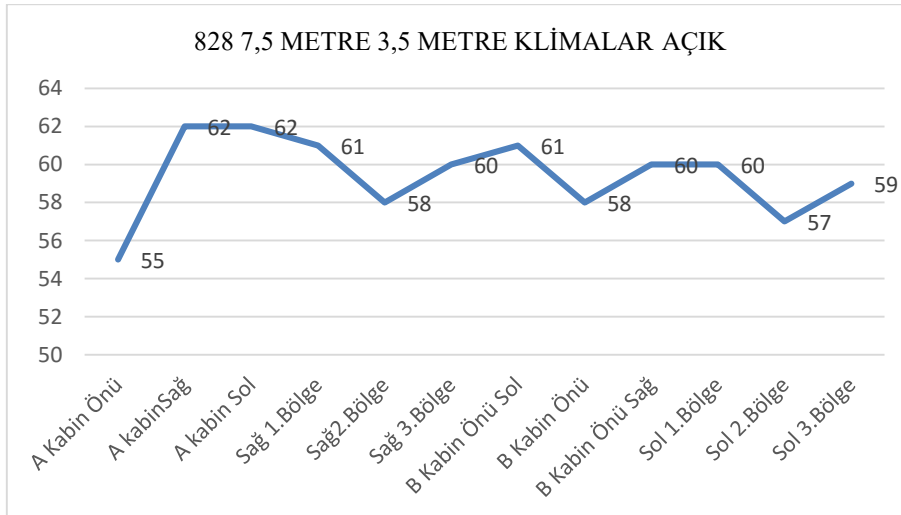


Şekil 3. Ölçüm Cihazı Grafiği 68,7 Desibel

LAeq değeri 68,7 desibeldir. Burada minimum değer 68,3 desibel, maksimum değer 69,3 desibel olarak ölçülmüştür.

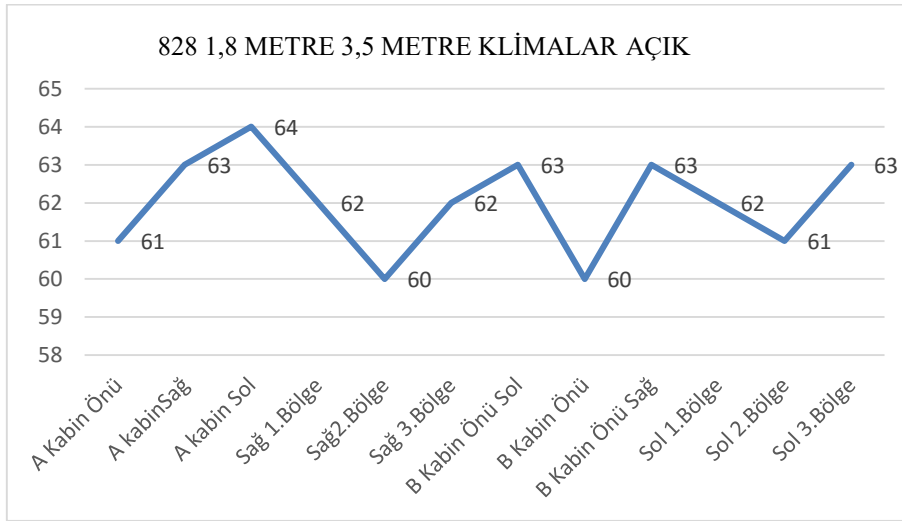
3.2. 3,5 Metre Yükseklikte Alınan Ölçümler

3,5 Metre yükseklikte alınan ölçümler Metro İstanbul Zeytinburnu Yerleşkesi Araç Parklanma Alanı'nda alınmıştır. İlk etapta Metro İstanbul'a ait T1 hattında çalışan araçlardan olan 828 numaralı Alstom Tramvay Aracı'nda ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler ISO-3095 standardında belirtilen 7,5 metre uzaklıkta ve 3,5 metre yükseklikte alınmıştır. Ölçümlerde en yüksek değerler makinist kabin kliması ile yolcu kliması arasında kalan bölgelerde kabin önlerinde ölçülmüştür (Şekil 4). 828 numaralı araçtan alınan gürültü ölçümleri incelendiğinde araç şartnamelerinde belirtilen limitlerin sağlandığı görülmüştür.



Şekil 4. 828 Araç Dışı Ölçümleri 7,5 Metre

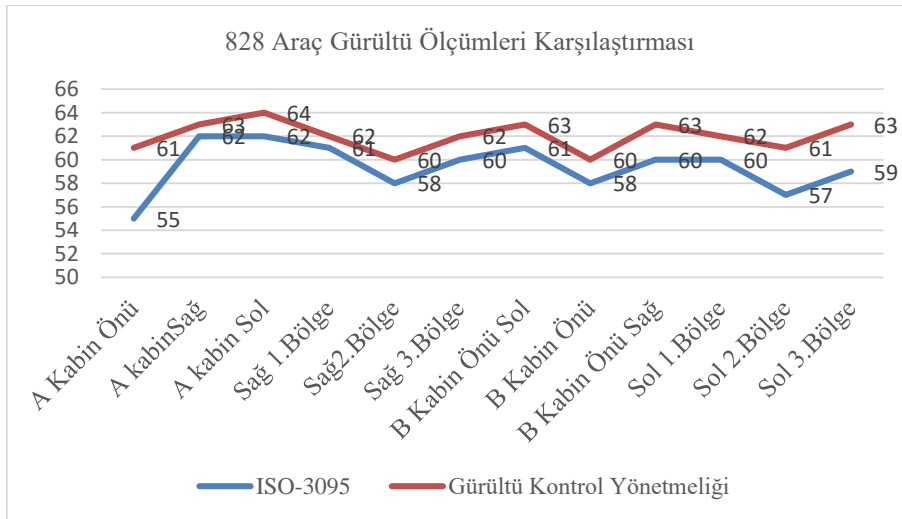
Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin belirtmiş olduğu kriterlere göre de ölçümler 828 numaralı araçta alınmıştır. Alınan ölçüm değerleri Şekil 5'te paylaşılmıştır.



Şekil 5. 828 Araç Dışı Ölçümleri 1,8 Metre

828 numaralı araçta ölçümler ortalama 62 desibel ile 63 desibel arasında yoğunluk göstermiştir. (Şekil 5). En yüksek alınan ölçüm 1. Ölçümde A Kabin Sol tarafta alınmıştır. 63.6 desibel olarak kayıt edilmiştir. Ortalama değer alındığında ve yuvarlama yapıldığında 64 desibel olarak ölçülmüştür. Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre sınıra yakın ölçüm alınsa da Yönetmeliğe aykırı bir durum söz konusu değildir.

Şekil 4 ve Şekil 5 verileri birleştirilip Şekil 6 oluşturulmuştur. Şekil 6'da görüleceği üzere Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre alınan ölçümler EN-3095 standardına göre alınan gürültü şiddetinden daha fazla ölçülmüştür. Aracın bazı bölgelerinde 6 desibel farklar ölçülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. 828 Araç Gürültü Ölçümleri

Metro İstanbul Zeytinburnu Yerleşkesi Araç Parklanma Alanı'nda, Metro İstanbul araçlarından olan ve T1 Hattı'nda çalışan Bombardier tramvay araçlarından olan 704 numaralı araçta gürültü ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler ISO-3095 standardına göre 7,5 metre uzaklıkta ve 3,5 metre yükseklikte alınmıştır. İlgili alanda 30 metreye kadar herhangi bir engel mevcut değildir.

Tablo 7. 704 Araç Dışı Ölçümleri 7,5 Metre

704 7,5 METRE 3,5 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	57,7	57,4	57,2	57
A Kabin Sağ	58,8	58,8	58,8	59
A Kabin Sol	59,5	59,4	58,7	59
Sağ 1.Bölge	61,2	61,1	60	61
Sağ 2.Bölge	61,4	61,5	61,5	61
Sağ 3.Bölge	63,1	63	63,1	63
B Kabin Önü Sol	58,6	58,7	58,4	58
B Kabin Önü	56,1	56,5	56,4	56
B Kabin Önü Sağ	57,6	57,6	57,3	58
Sol 1.Bölge	61,5	61,6	61,5	61
Sol 2.Bölge	64,2	64,1	64	64
Sol 3.Bölge	65	65,2	65,4	65

Yukarıda Tablo 7’de paylaşılan 704 numaralı araçta yapılan, 7,5 metre ve 3,5 metre mesafede alınan ölçümler ISO-3095’e göre alınmıştır. Alınan ölçümlere göre 7,5 metre mesafede şartnamelerde yazılan 70 desibel maksimum gürültü şiddetinin altında ölçümler ölçülmüştür.

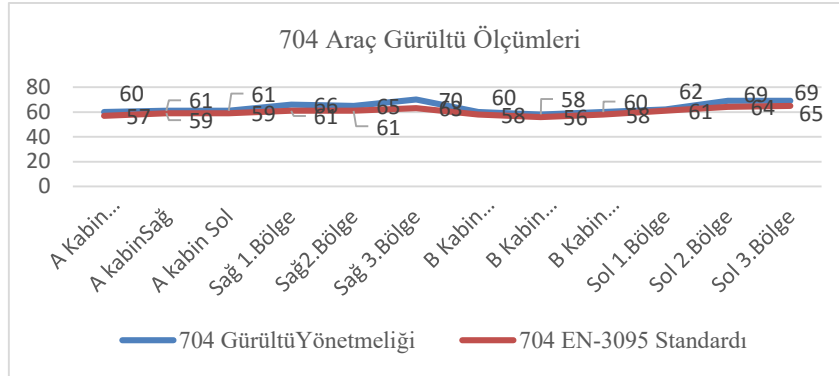
Tablo 8. 704 Araç Dışı Ölçümleri 1,8 Metre

704 1,8 METRE 3,5 METRE KLİMALAR AÇIK				
	1.ÖLÇÜM	2.ÖLÇÜM	3.ÖLÇÜM	Ortalama
A Kabin Önü	60,4	60,5	60,4	60
A Kabin Sağ	61,4	61	61	61
A Kabin Sol	61	61	60,9	61
Sağ 1.Bölge	65,6	65,8	65,6	66
Sağ 2.Bölge	65,2	64,9	65,5	65
Sağ 3.Bölge	70,5	70,2	70,5	70
B Kabin Önü Sol	60,2	60,3	60,2	60
B Kabin Önü	58,9	57,7	57,9	58
B Kabin Önü Sağ	59,8	59,8	59,1	60
Sol 1.Bölge	63	62,6	61,3	62
Sol 2.Bölge	68,7	69,1	68,3	69
Sol 3.Bölge	68,7	69,2	69,8	69

Çevre Bakanlığı Yönetmeliği’ne göre alınan ölçümler yukarıda Tablo 8’de paylaşılmıştır. En yüksek değer yolcu klima ile makinist kabin kliması arasında kalan bölgelerde ölçülmüştür. Klimaların araçlarda önemli gürültü kaynaklarından biri olduğu bu ölçümlerde de ortaya çıkmıştır. Ölçümler, ISO-3095’e göre alınan ölçümlerle kıyaslandığında yaklaşık olarak 4 desibel gürültü şiddeti artış göstermiştir (Tablo 7 ve Tablo 8).

Çevre Bakanlığının Yönetmeliği’ne göre 1,8 metre uzaklıkta ve 3,5 metre yükseklikte alınan ölçümler yönetmeliğin üzerinde ölçülmüştür. Araçtaki gürültü seviyesi klimalar maksimum kuvvette açıkken belirtilen 65 desibel limitinin önemsenmeyecek derecede üzerindedir. Tablo 6 da bu durum görülmektedir. Ayrıca ölçülen 70,5 desibel değeri şartnamelerde belirtilen 70 desibelin de üzerindedir.

704 Numaralı aracın Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde ölçülen gürültü değerlerinin ortalaması ile (Tablo 7) EN-3095 standardına göre alınan ölçümlerin ortalaması (Tablo 6) karşılaştırılmış olup aşağıda Grafik 4'te gösterilmiştir. Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne göre alınan ölçümler EN-3095 standardına göre alınan ölçüm değerlerine göre daha yüksek çıktığı Grafik 4'de görülmektedir. Aracın bazı bölgelerinde ölçülen farklar 5 desibele kadar çıkmaktadır.



Şekil 7. 704 Araç Gürültü Ölçümleri

4. SONUÇ

T1 Hattı'nda çalışan araçlar incelendiğinde şartnamelerde belirlenen üst limitleri büyük çoğunlukla uydugu, ancak Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ne uymadığı durumlar tespit edilmiştir. Araç teknik şartnamelerinde gürültü şiddetleri üst sınırı belirlenip, raylı sistem standartlarından olan ISO-3095 standardına göre ölçüm yapılması istenmektedir. Standartlar ölçümün hangi yükseklikte, hangi şartlar altında, hangi uzaklıkta yapılması gerektiğini net bir şekilde ifade etmektedir. Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde ise kentiçi raylı sistemler için ölçüm uzaklığı ifade edilmiş olup, hangi yükseklikte, hangi şartlar altında, ölçümlerin nasıl alınması gerektiği açık bir şekilde ifade edilmemiştir. Çok yüzeysel bir şekilde ölçüm uzaklığı ve gürültü üst sınırı belirtilmiştir. Tramvay gürültü ölçümlerinde ölçülen değerlerin araç şartnamesinde belirtilen üst sınırları çoğunlukla sağladığı ancak Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nin üst sınırlarını sağlamadığı ortaya koyulmuştur. Ölçüm yüksekliğinin ve ölçüm mesafesinin gürültü şiddetlerini önemli derecede etkilediği ortaya koyulmuştur. Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde platformdan 1,8 metre uzakta duran ve kalkan trenler için gürültü üst sınırı 75 dBA olarak belirtilmiştir. Şartnamelerde aracın hızına bağlı olarak ISO 3095'e göre genellikle 75 dBA belirlenmiştir. Standartta ölçüm 25 metrede de yapılmaktadır. 25 metre de alınan ölçüm ile 1,8 metre de alınan ölçümlerde bariz gürültü farkları söz konusu olacaktır. Şartnameyi sağlayan aracın Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ni sağlamadığı durumlar olacaktır. Bu karışıklığın giderilmesi elzemdir.

ISO-3095 standardında gürültü kontrol yönetmeliğinde belirtilen ölçüm uzaklığı yer almamaktadır. Bu durum Gürültü Kontrol Yönetmeliği'yle ölçülen gürültü şiddetleri ile kıyaslama yapılmasına olanak sağlamamaktadır. Bu problemlerin önüne geçmek için Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde kentiçi raylı sistem araçları için düzenleme yapılabilir. Düzenlemede; araç dışı gürültü şiddetlerinde ISO 3095'e atıfta bulunularak aşağıdaki ifadeler yer alabilir.

“Ölçümler ISO 3095'e göre alınması gerekmektedir. Ölçümler aşağıdaki sınırları geçemez”

“-Araç sabitken, camlar ve kapılar kapalı kapalıyken, yardımcı tüm ekipmanlar aynı anda klima ve havalandırma fanları çalışırken 65 dBA,

-Normal işletmede ve belirtilen hatta, ondülasyonsuz rayda, 50 km/sa’te denk herhangi bir hızda, herhangi bir ivmelenmede veya frenleme konumunda dış gürültü seviyesi 75 dBA. “

Aşağıda Tablo 9’da örnek ölçüm mesafeleri ve gürültü üst sınırları belirtilmiştir. Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nde Tablo 9’da ifade edilen ölçüm mesafeleri ve gürültü şiddetleri üst değerleri yer alabilir.

Tablo 9. Raylı Sistem Araçları Dış Ortam Gürültü Şiddeti Üst Sınırları

RAYLI SİSTEM ARAÇLARI DIŞ ORTAM GÜRÜLTÜ ŞİDDETİ ÜST SINIRLARI		
Araç Sabit	1,2 Metre Yükseklik	3,5 Metre Yükseklik
Araçtan 7,5 Metre Uzaklıkta	65 dBA	65 dBA
Araçtan 25 Metre Uzaklıkta	65 dBA	65 dBA
50km/sa hızda	1,2 Metre Yükseklik	3,5 Metre Yükseklik
Araçtan 7,5 Metre Uzaklıkta	75 dBA	75 dBA
Araçtan 25 Metre Uzaklıkta	75 dBA	75 dBA

Bu konu üzerine yeterli kaynak bulunmamaktadır. Bu eksikliğin giderilmesi adına bu konu üzerine akademik çalışmalar yapılmalı, yapılan bu çalışmalar raylı sistem işletmeciliği yapan kurum ve kuruluşlarla paylaşılmalıdır.

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

Alstom Teknik Şartnamesi, (2007). Kabataş-Zeytinburnu-Bağcılar hattı tramvay araçları ve makinist simülatörü teknik şartnamesi. *Alstom*. 18.

Atalay, A., Unal, A. ve Codur M.Y. (2017). Performance evaluation of the ANN and ANFIS models in urban traffic noise prediction. *Fresenius Environmental Bulletin*. 20(6), 4254-4260.

Arlı, V. (2010). Kent içi raylı sistemler, *Teknik Dergi, EMO Antalya Şubesi Yayını*, 2. http://www.emo.org.tr/ekler/2c1c8c7efa8da3f_ek.pdf?dergi=629 adresinden 31 Mayıs 2020 tarihinde alınmıştır.

- Armstrong ve Wright, (1986). Urban transit systems guidelines for examining options. *World Bank Technical Paper*, Washington, USA.
- Baştuğ, G. (2014, Eylül). *Kentiçi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması* [Ulaştırma ve Haberleşme Tezi]. Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı. Ankara.
- Çelik, E., Aydın, N. ve Gümüş, A.T. (2014), A multiattribute customer satisfaction evaluation approach for rail transit network: A real case study for Istanbul, Turkey. *Transport Policy*. 36.
- European Union (EU) (2002). Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj> adresinden 10 Eylül 2020 tarihinde alınmıştır.
- Gürültü Kontrol Yönetmeliği (1986, Aralık, 11). *Resmi Gazete*.
- ISO 3095 (2013, Ağustos, 31). Acoustics- Railway Applications -Measurement of Noise Emitted by Railbound Vehicles.
- Kryter, K. D. (1984). Physiological, psychological and social effects of noise. *NASA Reference Publication*, California.
- MEB, (2011), Çevre Sağlığı ve Gürültü Kirliliği. *Milli Eğitim Bakanlığı*. 850CK0036.
- Palacin, R. (2014). Rail Systems; Environmental Performance; Energy Consumption, Noise Pollution, Mobility. *Transport Problems*. 9 (Special Edition), 4.
- Sharaf, A. ve Reyouf, A. (2021). Roadway traffic noise modelling in the hot hyper arid Arabian Gulf region using adaptive neuro-fuzzy interference system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 97. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102917>
- Toprak, R. ve Aktürk, N. (2002). Raylı ulaşım sistemlerinin neden olduğu gürültü ve çevresel etkileri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*.417, 33.
- Tutmez, B. ve Baranovskii, A. (2019). Quantifying uncertainty in railway noise. *Measurement*. 137, 1-6.
- Wosniacki Gustavo, G. ve Zannin Paulo, H. T. (2021). Framework to manage railway noise exposure in Brazil based on field measurements and strategic noise mapping at the local level. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143721>
- Yener, H. M. (2017). *Ulaşımdan kaynaklı gürültü rahatsızlığı : İzmir örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.



Araştırma Makalesi / Research Article

**SMOKY (DUMANLI) KUVARS MİNERALİNİN
GEMOLOJİK ÖZELLİKLERİ***

GEMOLOGICAL PROPERTIES OF SMOKY QUARTZ MINERALS

Yasemin KANTARÇEKEN¹ Zeki ÇİZMECİOĞLU²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ysmnktrckn@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
11.08.2021

Kabul Tarihi / Accepted
16.08.2021

Öz

Kuvars yapısal olarak kristalli yapıya sahiptir. Kuvars minerali yaydıklarına inanılan pozitif enerjiden dolayı takılarda kullanılır. Sanayide ve tıbbi aletlerin üretimlerinde ham madde olarak bilinir. Kuvarsın bir çeşidi olan dumanlı kuvars, griye ya da kahverengiye yakın bir renkte olup şeffaf ve kristal yapıdadır. Dumanlı veya Smoky kuvars, dünyanın pek çok yerinde bulunmaktadır ancak en fazla İsviçre, ABD, ve Madagaskar'da çıkarılmaktadır. Ülkemizde ise Aydın ili Koçarlı İlçesi Mersinbelen Köyünde bulunan bazı lokalitelerde dumanlı kuvars çıkarılarak ekonomiye kazandırılmaktadır. Bu çalışmada, Aydın ili Koçarlı ilçesi Mersinbelen Köyünde saha çalışması yapılmış ve çalışma alanında bulunan dumanlı (smoky) kuvars örnekleri bulunarak, lokalitelerdeki dumanlı kuvars örneklerinin XRF, ICP-MS, XRD analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydın, dumanlı kuvars, gemolojik özellikler, kuvars.

Abstract

In relation to different transports types used in urban transportation, the integration of transport modes, in other words, the construction of "transfer centers" has become a requirement for cities. In order to meet the expectations of users from public transportation such as safety, comfort, speed, transfer centers, which have a transportation infrastructure, emerge as an important dynamic for meeting the expectations mentioned in Istanbul urban transportation. As 'timing' has become even more crucial nowadays. In this study, the concept of transfer center is analysed as an outcome of the urban transportation planning and integration. During the construction of transfer centers, it requires the implementation of a legal process in terms of planning and design principles such as security, accessibility, information, visibility and image by prioritising public interest.

Keywords: Aydın, gemological properties, quartz, smoky quartz.

*Bu yayın Yasemin KANTARÇEKEN isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mücevherat Mühendisliği Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mücevherat Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye.
ysmnktrckn@gmail.com, Orcid.org/0000-0003-2042-6837.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye.
zicizmecioğlu@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-0593-5510.

1.GİRİŞ

Aydın ili, özellikle renksiz ve dumanlı kuvars kristallerinin ülkemizdeki en önemli yataklarının bulunduğu bölgelere sahiptir (Hatipoğlu, 2010, s.440). Karacasu bölgesi ile ilgili yapılan jeolojik araştırmalarda bölgedeki jeolojik oluşumların Paleozoik, Neojen ve Kuaterner dönemlerine ait stratigrafik sıralama gösterdiği belirlenmiştir (Akarsu, 1969, s.5). Ayrıca, mineral şistler üzerinde yapılan mikroskopik incelemelerde, kuvars ve benzeri maddeler içerdiği saptanmıştır. Kumtaşı elemanlarının çoğunda benzer şekilde kuvars taneleri ve mika pullarının mevcut olduğu belirlenmiştir.

D-B gidişli Büyük Menderes Grabeni'nin güney bloğunda bulunan Karacasu ve Koçarlı bölgelerinin dağlık kesimlerinde gri, siyah ve kahverengi renklerde bulunan kuvars kristalleri Anadolu'daki en zengin kuvars madenlerini oluşturmaktadır (Hatipoğlu, 2010, s.440; Selim ve ark., 2015, s.102). Aydın bölgesinde bulunan iki adet kuvars lokasyonu vardır. Bunlar Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularında uzanmaktadır. Ancak, Kuzey-Güney damarları çok yaşlı olmasından dolayı süs taşı kalitesinde kuvars kristalleri üretmezler. Bölgede bulunan dumanlı kuvars çeşitleri Menderes Masifi'nin şist, leptit ve gnays gibi ana kayaların içerindeki boşluklarda kristalleşerek oluşmuşlardır. Kuvars kristalleri bu kayaların içerisinde ince, paralel uzun damarlarda ve çepere tutunarak oluşurlar. Kuvars damarları yaklaşık 0,2 ile 0,8 metre genişlikte, 1-7 metre uzunlukta ve 10-30 metre derinliğe sahiptirler. Elde edilen lenslerin boyutları 0,5-2 m, 3-10 m ve 3-6 m olarak ölçülmüştür. Aydın bölgesinde bulunan toplam kuvars rezervi yaklaşık 600.000 ton olarak hesaplanmıştır. Bu rezervin piyasa değeri yaklaşık 3 milyar USD olarak tahmin edilmektedir (Selim, 2015, s.102).

Kuvars minerali sahip olduğu fiziko-mekanik özelliklerinden dolayı yapay mermerde kullanılmaktadır. Kuvarslar genellikle direnci güçlü ve aşındırıcı kayalardan oluşmaktadır. Ögütülmesi ve işlenmesi çok zordur (Yüçetürk, 2010, s.75). Bu sebepten dolayı kuvars kumtaşı ile benzer kimyasal bileşik olan kuvarsit üretiminde daha saf kuvars tercih edilmektedir. Bu yapılan $CaCO_3$ yapısına sahip çeşitli mineraller renksiz, şeffaf, uçucu mineral kristallerdir (Kurt, 2019, s.76). Yapay mermerlerdeki ham madde için kullanılan kuvars ve kalsit mineralleri bu kapsamda çok önemlidir. Kuvars minerallerinden elde edilen yapı malzemeleri, fiziko-mekanik özellikler nedeniyle kalsit mineralinden daha iyi elde edilmektedir (Yüçetürk, 2010, s.76). Bu çalışma da Aydın ilinin Koçarlı ve Karacasu ilçelerinde elde edilen Dumanlı (Smoky) kuvars mineralinin gemolojik özelliklerini ülkemizdeki dumanlı kuvars işletmeciliği açısından incelemektedir.

2.KUVARSLAR VE ÖZELLİKLERİ

Kuvarslar, mineraller kristalleşme olayının akışı içinde birbirini takip eden kristalleşme işlemi kuvarsın oluşumu ile ortaya çıkar (Gümüş, 1969, s.23). Bu tanımlamanın altyapısı Volfram, Altın, Kalay ve Molibden gibi maddelerin ortaya çıkmasıdır. Kuvars; kimya, elektrik, mekanik ve termal özellikleri açısından çok önemli ve nadir kaynaklardan biridir. Kuvars (Quartz) kelimesi Almanca kelimesinden türetilmiştir (Cerda, 2014, s.144). Kuvarsın ergime noktası yaklaşık $1700^{\circ}C$ 'nin üzerindedir. Kuvars, doğal olarak yer altında oluşur. Granit kayaların ayrıştırılması sonucunda 2mm'den daha küçük tanecikler olarak elde edilir. Tuğla ve seramik endüstrisinde (Karaman, 2006, s.128), döküm sanayisinde ve genellikle cam üretim sektörlerinde kullanılmaktadır. Kullanım alanları kuvarsların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Kuvarslar genellikle kimya endüstrisinde silikon metal ve kroze üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca saf kuvarslar, optik, elektronik ve elektrik endüstrisinde çok yaygın şekilde tüketilmektedir.



Şekil 1. Kuvars Örneği ve Moleküler Dizilimi (MTA, 2020).

Dünyadaki kuvars kaynaklarının (ametist) çoğu Brezilya'da bulunmaktadır (Akbulak, 2018, s.235). Bununla beraber en fazla kuvars kaynağının (amorf, kripto kristal) olduğu ülkeler Arjantin, Avusturya ve İspanya olarak sıralanabilir (MTA, 2020). Dünyadaki bütün rezerv miktarı net olarak bilinmemektedir. Ülkemizde ise kuvars alanlarında toplam 730 milyon ton rezerv olduğu tahmin edilmektedir. Bu kapsamda ülkemiz oldukça zengin kuvars yataklarına sahiptir. Başlıca kuvars bölgeleri İstanbul, Tekirdağ, Zonguldak ve Sinop'tur (Koç, 2014, s.22). Ülkemizde kuvars işlenmesi ve ihracatı her yıl artarak devam etmektedir. Ancak, ülkemizdeki en büyük sorunlardan birisi kuvars mineralinin işlenmesi için gerekli makinelerin ve işgücünün yeterli olmamasıdır.

2.1. Temel Özellikleri ve Sanayide Kullanımı

Kuvars minerallerinin en önemli özellikleri piezoelektrik, sıcaklık ve basınca dayanıklı, sert, altıgen yapıda, saydam veya yarı saydam renklerde bulunmasıdır. Bunların yanında doğal çevrede amorf (biçimsiz) veya kristal yapıda bulunmaktadır (Kurşun & İpekoğlu, 1995, s.40). Kuvarlar özelliklerine göre mor (ametist), pembe, beyaz, duman rengi ve füme gibi çeşitli renklere sahiptir. Kuvars, dünya yüzeyinde bulunan en bol ve en yaygın dağılmış olan minerallerden birisidir. Magmatik, metamorfik ve tortul kayalarda bol miktarda bulunur. Mekanik ve kimyasal hava koşullarına oldukça dayanıklıdır. Bu sebepten dolayı plaj, nehir ve çöl kumu ana bileşenlerinden birisidir.

Kuvarın sanayide kullanılmasının en önemli sebeplerinden birisi piezoelektriksel olmasıdır. Basınca veya gerilime maruz kaldığında şekillerinin özelliklerinden dolayı alternatif prizma kenarlarından pozitif ve negatif yükler geliştirir. Bunlar yüksek basınçtaki değişiklikler ile orantılıdır. Bu özelliği nedeniyle kuvars plakalar, derinlik sondaj cihazlarında olduğu gibi farklı şekillerde basınç ölçümlerinde kullanılır (Batman, 2015, s.69). Kuvarların fiziksel özellikleri aşağıda yer verilen tablodaki gibi sıralanabilir:

Tablo 1. Kuvars Minerallerinin Fiziksel Özellikleri (Şen & Kök., 2018, s.3)

Kimyasal sınıflandırma	Silikat
Renk	Hemen hemen her renkte olabilir. Açık, beyaz, gri, mor, sarı, kahverengi, siyah, pembe, yeşil, kırmızı.
Çizgi	Renksiz ve çizgi plakasından daha sert.
Parlaklık	Cam gibi
Şeffaflık	Saydamlığa karşı saydam
Dilinim	Yok – konkoidal ile kırılır
Mohs sertlik	7
Özgül ağırlık	2,6 – 2,7
Teşhis özellikleri	Konkoidal kırık camsı parlaklık, sertlik
Kimyasal bileşimi	SiO ₂
Kristal sistem	Altıgen
Kullanım alanları	Cam yapımı, döküm tozu, değerli taşlar ve hidrolik kırılma propant.

Kuvars, elektriksel bir reaksiyon oluşturabilir. Bu yeteneğe sahip mineraller piezoelektrik olarak bilinir (Smith & Rhodes, 1994, s.50). Oluşturulan elektrik, bir yük, fiziksel stres veya ısı uygulanarak oluşturulabilir. Kuvars, ayrıca tribolüminesans veya basınç altında ışık yaratma yeteneği olan bir mücevher olarak da bilinmektedir. Bu gizemli ışık, bildiğimiz biçimdeki elektrik değildir, ancak çoğu zaman bu şekilde yapılmaktadır? Kuvars kristalleri elektrik üretmesine rağmen elmaslar aslında yalıtıcıdır ve elektrik iletmezler.

Piezoelektrik olayını açıklayan ilk bilimsel yayın Pierre ve Jacques Curie tarafından 1880 yılında yayınlanmıştır. Yaptıkları deneylerde mekanik olarak zorlandıklarında, yüzey yükleri gösteren turmalin, kuvars, topaz, şeker kamışı ve Rochelle tuzu gibi bir dizi kristali kullanmışlardır.

Piezoelektrik katsayısı k , bir piezoelektrik malzemesinin elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme yeteneğini temsil etmektedir. Mekanik ve elektriksel alanlar arasındaki enerji dönüşümü, piezoelektrik malzemelerden yapılan hem sensörlerde hem de aktüatörlerde kullanılır. Kuvars için $k = 0,1$ 'dir.

Piezoelektrik kristal iki metal plaka arasına yerleştirilir. Daha sonra malzemeye metal plakalar tarafından mekanik basınç uygulanır ve bu da kristal içindeki elektrik yüklerini dengeden çıkarır. Kristal yüzün zıt taraflarında aşırı negatif ve pozitif yükler ortaya çıkar (Smith & Rhodes, 1994, s.50).

Piezoelektrik özelliğe sahip malzemeler, enerjinin mekanik alandan elektrik alanına ve tersi yönde dönüştürülmesine izin verir. Piezoelektrik sahibi materyaller, çeşitli sensörler veya aktüatörler oluşturmak için kullanılabilirler. Ayrıca uygulanan periyodik elektrik sinyali, görüntüleme amaçlı (ultrasonik) dalgaların üretilmesi için kullanılabilir.

2.2. Dumanlı Kuvars

Smoky (Dumanlı) kuvars minerallerinin Mohs sertlik derecesi 7'dir. Şekil olarak üçgen kristal yapıya sahiptir. Görünüm ve renk olarak açıktan koyuya ve şeffaftan katıya doğru derecelendirilir. Dumanlı kuvars, yarı saydam kuvars çeşididir (Şekil 2).



Şekil 2. Dumanlı Kuvars Örneği

Dumanlı kuvars, renk çeşitliliği olan bir kristal kuvars olarak bilinir (O'Brien, 1955, s.62). Açık sarımsı kahverengiden siyah renge kadar koyu olan kahverengi renge sahip olabilir. Grimsi kahverengi renge sahip olan örnekler daha az sayıda elde edilmektedir. Cevher olarak kesildiğinde turuncumsu kahverengiden kırmızımsı kahverengiye değişen taşlar pek çok kişi tarafından tercih edilmektedir. Dumanlı kuvars, diğerlerine göre doğada bol miktarda bulunduğu için daha ucuz bir mücevher malzemesidir. Genellikle birkaç kapağıyla mükemmel şeffaflığa sahip büyük kristallerde bulunur. Dumanlı kuvarsın rengi, kendisini çevreleyen kayadan yayılan doğal radyasyon, kristalin kuvars içindeki alüminyum safsızlıklarının etrafındaki renk merkezlerini etkinleştirdiğinde oluşmaktadır. Dumanlı kuvars açısından mücevherat olarak yararlanılan ülkelerin en önemlisi Brezilyadır. Madagaskar, dumanlı kuvars üreten ve ihraç eden ikinci ülkedir. Bununla beraber İskoçya, ABD, Rusya, Ukrayna ve İsviçre dumanlı kuvars kaynaklarının en fazla olduğu ülkelerdendir.

2.3. Dumanlı Kuvars Özellikleri

Dumanlı kuvars, kahverengi ve grimsi renk aralığında rengi olan bir kuvars çeşididir. Nefes taşı olarak da bilinen dağ kristali çeşidi olan dumanlı kuvarslar yarı şeffaf ve dumanlı bir renge sahiptir (Yüçetürk, 2010, s.76). En yaygın bulunduğu çeşit olan morion dumanlı kuvars, çok koyu kahverengiden opak siyah renge geçişlidir. Diğer kuvarslar gibi SiO_2 kimyasal formüle sahiptir. Dumanlı kuvars binlerce yıldır genellikle dekoratif, süs ve dinî nesnelere içinde değerli taş olarak kullanılmaktadır (Hatipoğlu & Gökçen, 2007, s.2). Dumanlı kuvarsın korku, panik, kırgınlık ve gerginliği giderdiğine inanılır. Bazılarına göre böbrek ve pankreas organlarına iyi gelmektedir. Dumanlı kuvarsın fiziksel özellikleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2. Dumanlı Kuvars Süstaşlarının Fiziksel Özellikleri (MTA, 2020)

Kimyasal Sınıflandırma	Silikat
Renk	Açık sarımsı, kahverengi, turuncumsu, kırmızımsı kahverengi gibi koyu renktedirler. Çoğu örnek grimsi ve siyah renktedir.
Çizgi	Renksiz (çizgi plakasından daha sert)
Parlak	Vitrifiye
Diyafanite	Şeffaftan yarı saydamlığa
Bölünme	Yok - tipik olarak konkoidal kırılma ile kırılır
Mohs Sertliği	7
Özgül Ağırlık	2,6 – 2,7
Teşhis Özellikleri	Konkoidal kırılma, camsı parlaklık, sertlik, kahverengimsi renk
Kimyasal Bileşim	SiO ₂
Kristal Sistem	Altıgen
Kullanım	Faceted gemstones, cabochons, boncuklar, oymalar, küreler kullanır

Dumanlı kuvars, boncuklara ve kabaşonlara ayrılır veya kesilir. Bu mücevherler genellikle sarımsı kahverengiden koyu kahverengiye kadar rengi sevenler için yüzük, kolye, küpe ve broşlarda kullanılır. Koyu kahverengi renkli dumanlı kuvars, erkek yüzük ve kol düğmelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Viktorya Dönemi boyunca, İrlanda'nın Morne Dağları'ndan gelen koyu kahverengi taşlar genellikle takılarda kullanılmıştır. Dumanlı kuvars, fiyatı düşük olduğu ve büyük parçalar kolaylıkla elde edilebildiği için, faset yapmayı öğrenen kişilerin gözde uygulama malzemesidir. Ayrıca oyma malzemesi olarak da sıklıkla kullanılmaktadır. 12. yüzyılda Çin'de gözlük yapmak için düz dumanlı kuvars parçaları kullanılıyordu. Bunlardan bazıları gözleri parlak ışıktan korumak için kullanılmaktaydı. Dumanlı kuvars; ametist, sitrin, ametrin, gül kuvars ve limon kuvars ile beraber mineral kuvarsın renginden elde edilmektedir. Bu kuvarslar renk dışında neredeyse aynı özelliklere sahiptir. Dumanlı kuvars, çoğunlukla magmatik ve metamorfik kayaları kesen kuvars damarlarında ve pegmatit bentlerinde bulunmaktadır. İyi oluşmuş kristaller genellikle bir pegmatitin kenarları boyunca magmatik ve metamorfik kayaların boşluklarında bulunur. Daha düşük sıcaklıklarda oluşan dumanlı kuvars, bazen bilinen hiçbir magmatik ilişki olmaksızın tortul ve metamorfik kayaçların kırıklarında bulunur. Dünyanın birçok yerindeki radyoaktif maden yatakları, çok koyu dumanlı kuvarsla ilişkilendirilir. Bu yerlerdeki çok koyu kuvars, muhtemelen radyoaktif minerallerden kaynaklanan emisyonlarla renklenmektedir.

2.4. Türkiye'de Dumanlı Kuvars Kullanım ve Üretim Alanları

Dumanlı kuvars ile koyu siyah türü Morion, dünya yüzeyinde en fazla ve bol miktarda Brezilya ile Türkiye'de çıkarılmaktadır. Türkiye'de en fazla çıkarılan yerler Aydın'a bağlı Çine, Koçarlı ve Karacasu'dur. Özellikle Koçarlı ilçesindeki Mersinbelen Köyü ve civar yakın köylerdeki tarlalarda toplanan dumanlı kuvars kristalleri satılmaktadır. Çine bölgesinde bulunan metamorfik kayaç olan gnayslar ve leptit çatlakları bölgelerinde, metamorfizma sonrasında oluşmuş fazla miktarda dumanlı kuvarslar bulunmaktadır. Ancak Süstaşı olarak kullanılanların çoğunlukla benzer birimlerde Miyosen yaşlı birimlerin içinde Doğu- Batı yönündeki çatlaklardaki fizyonların içerisinde olduğu bildirilmiştir (Kun, 1986, s.45). Bölgede bulunan dumanlı kuvarslar genellikle açık renktedir.

Aydın'ın diğer ilçesi olan Koçarlı'da da dumanlı kuvars grubu kuvars yatakları bulunmaktadır. Özellikle güney bölgelerinde yer alan Gaffarlar, Bağcılar ve Mersinbelen yörelerinde sürülmüş tarlalarda dumanlı kuvarsa rastlanmaktadır (Hatipoğlu, 1991, s.23). Bu bölgelerdeki kuvarslar Karacasu ve Çine bölgelerinde bulunan dumanlı kuvarslara göre daha küçük, ancak daha saydamdır. Uzunlukları maksimum 20-30 cm civarında ve çapları yaklaşık 10-13 cm kadardır. Diğer kuvarslara göre dumanlı kuvars çeşitleri bu bölgelerde daha yaygın bulunmaktadır. Bölgede elde edilen dumanlı kuvarslar, filonlar, gnays ve şistler içerisinde elde edilmektedir.

Dumanlı kuvars diğer kuvars çeşitlerinde olduğu gibi ülkemizde endüstri alanında kullanılmaktadır (Akyol, 2020, s.92). Ancak, ülkemizdeki kuvars kaynakları değerlendirildiğinde dumanlı kuvars yataklarından elde edilen dumanlı veya diğer çeşitlerdeki kuvars miktarının çok düşük oranda olduğu görülmektedir. Dumanlı kuvars çok sert ve dayanıklı olduğundan öğütülüp işlenmesi oldukça zor ve masraflıdır (Selim, 2015, s.102). Kuvarsit kayaçların üretiminde benzer kimyasallara sahip olan kuvars kristalinden kumu ve kuvarslı gre olarak yararlanılmaktadır. Bölgede bulunan kuvars yataklarından ve tarlalardan elde edilen kolay işlenebilecek kuvars kristali haricinde daha yüksek kalitede ve özellikte olan kuvars yatakları kristal olarak veya dev boyutlarda koleksiyon niteliğinde ya da müzelik amacıyla kullanılmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Modeli

Bu çalışmada, nitel araştırma yaklaşımı yöntemlerinden case study (durum çalışması) kullanılmıştır (Akarsu & Akarsu, 2019, s.88). Durum çalışması, vaka çalışması olarak da bilinmektedir. Vaka çalışması, genellikle sosyal bilimlerde ve yaşam bilimlerinde görülen bir araştırma metodolojisidir. Vaka çalışması araştırmasının tek bir tanımı yoktur. Bununla birlikte çok basit bir şekilde bir kişi, bir grup insan veya bir ünite hakkında birkaç ünite üzerinde genelleme yapmayı amaçlayan yoğun bir çalışma olarak tanımlanabilir. Bir vaka çalışması, tek bir bireyin, grubun, topluluğun veya araştırmacının birkaç değişkenle ilgili derinlemesine verileri incelediği başka bir birimin yoğun, sistematik bir araştırması olarak da tanımlanmıştır.

3.2. Veri Toplama Yöntemi

Veri toplama işlemi dumanlı kuvars ile ilgili başlıkların incelendiği tez, resmî ve organizasyonların web sayfaları, makaleler, projeler, konferans sunumları ve kitapların incelenmesi ile elde edilmiştir. Sistematik literatürde tarama yönteminin kullanıldığı veri toplama işlemleri sonucunda ise elde edilen veriler analiz edilerek değerlendirilmiştir.

3.3. Veri Analizi

Araştırmada Aydın ilinde madenlerden ve hatta bazen tarlalardan elde edilen dumanlı kuvars kristalleri ile ilgili detaylı literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, özellikle dumanlı kuvars olmak üzere kuvars kristalleri ile ilgili ülkemizde ve dünyada bulunan kaynaklar, kullanım alanları ve uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Son olarak dumanlı kuvars mineralinin gemolojik özelliklerini, ülkemizde çıkarılan yerlerinin özelliklerini ve ülkemizdeki dumanlı kuvars işletmeciliği incelenmiştir. Bunun sonucunda dumanlı kuvarsın oluşumu, çıktığı yerler, fiziksel ve kimyasal özellikleri elde edilmiştir. Dumanlı kuvarsın yüksek dayanıklılığı nedeniyle sanayide kullanım alanları da araştırılmış ve analiz edilmiştir.

4. ANALİZ SONUÇLARI

Araştırma kapsamında Aydın ili Koçarlı ilçesi Mersinbelen Köyünde saha çalışması yapılmış ve çalışma alanında bulunan dumanlı (smoky) kuvars örnekleri lokalitelerdeki dumanlı kuvars örneklerinin XRF, ICP-MS, XRD analizleri yapılmıştır.

4.1. Numunelerin XRF Analiz Sonuçları

Bölgede bulunan dumanlı kuvarlar çalışmanın ilk kısmında kimyasal analize tabii tutulmuştur. İlk kimyasal analiz olarak XRF analizi gerçekleştirilmiştir. XRF (X-Ray fluorescence) ((X-ışını floresansı), tahribatsız kimyasal analiz olarak bilinir ve genellikle malzemelerin temel ve kimyasal bileşimlerini tanımlamak ve karar vermek için kullanılan analitik yöntemdir. XRF analiz cihazı, birincil bir X-ışını kaynağı tarafından uyarıldığında bir numuneden yayılan floresan (veya ikincil) X-ışınını ölçerek numunenin kimyasını belirlemektedir. Analiz sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Elde edilen numunelerin XRF kimyasal analiz sonuçları

MAJOR	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	Cr ₂ O ₃	LOI	TOPLAM
SMK 1	0.00 %	0.00 %	0.04 %	99.16 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.02 %	0.00 %	0.01 %	0.00 %	0.76 %	99.99%
SMK 2	0.00 %	0.00 %	0.00 %	99.14 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.00 %	0.01 %	0.00 %	0.82 %	99.98%
SMK 3	0.00 %	0.00 %	0.00 %	99.05 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.02 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.90 %	99.97%
SMK 4	0.00 %	0.00 %	0.00 %	99.38 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.01 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.59 %	99.98%

4.2. Dumanlı Kuvars Örneklerinin ICP-MS Analiz Sonuçları

Çalışma için Aydın ili Koçarlı ilçesi Mersinbelen Köyünde bulunan dumanlı kuvars örnekleri kimyasal analize uygun hazırlanmıştır. Yapılan ikinci kimyasal analiz ise ICP-MS analizidir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

4.3. X-Ray Diffraction (XRD) Analiz Sonuçları

Aydın ili Koçarlı ilçesi Mersinbelen Köyünde bulunan bölgeden elde edilen dumanlı kuvars örnekleri son olarak XRD analizine tabii tutulmuştur. X ışını kırınım analizi (XRD), bir malzemenin kristalografi yapısını belirlemek için malzeme biliminde kullanılan tekniktir. XRD, numuneye gelen X ışınlarına maruz bırakılır ve ardından numuneyi terk eden X ışınlarının yoğunlukları ve saçılma açıları ölçülür. XRD analizinin birincil kullanımı, kırınım modellerine göre malzemelerin tanımlanmasıdır. XRD, faz tanımlamasının yanı sıra iç gerilimler ve kusurlar nedeniyle gerçek yapının ideal olandan nasıl saptığı hakkında detaylı bilgi vermektedir. Aşağıdaki tabloda dumanlı kuvars numuneleri üzerinde yapılan XRD analizleri sonucunda elde edilen bulgular sunulmuştur.

Tablo 4. SMK-1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Kimyasal Analizi

Ref. Code	Mineral Name	Chemical Formula
98-004-0906	Quartz low	O ₂ Si ₁

Tablo 5. SMK-2 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Kimyasal Analizi

Ref. Code	Mineral Name	Chemical Formula
98-004-0906	Quartz low	O2 Si1

Tablo 6. SMK-1 Numune Üzerinde Gerçekleştirilen Kimyasal Analizi

Ref. Code	Mineral Name	Chemical Formula
98-005-4828	Quartz low	O2 Si1

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Aydın ili Koçarlı ilçesi Mersinbelen Köyünde saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma yapılan sahada bulunan dumanlı (smoky) kuvars örnekleri, çalışmanın amacına uygun bir şekilde incelenmiştir. Bölgede bulunan lokalitelerdeki dumanlı kuvars örnekleri XRF, ICP-MS, XRD analizleri yapılmak üzere hazırlanmış ve analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular kısaca sunulmuş ve tartışılmıştır. Bölgede elde edilen toplam 4 numune kimyasal analizlere tabii tutulmuştur.

Bölgeden elde edilen kuvars örnekleri üzerine yapılan XRF analiz sonuçlarına göre major oksitlerden SiO₂ (%99,05-99,38) beklendiği üzere oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm örneklerde gözlemlenen Fe₂O₃ varlığının, dumanlı kuvarsların geliştiği metamorfik kayalardaki radyoaktivite etkisi ile renk merkezlerinin oluşumunda etkili olabileceği düşünülmektedir.

SMK-1 kodlu numunede saptanan Al₂O₃ varlığının ise yine renk merkezinde ton farklılığı oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu Al₂O₃ varlığının kristal içerisinde homojen olarak dağılmaması durumunda ise kristalin bazı zonlarında safsızlıklar olduğunu akla getirmektedir.

Dumanlı kuvarslara ayrıca ICP-MS analizi uygulanmıştır. ICP-MS analiz sonuçlarına göre Dumanlı kuvarslar içerisinde radyoaktif bir elemente rastlanmamıştır. Dumanlı kuvarsların radyoaktivite etkisi ile geliştiği göz önünde bulundurulduğunda bu elementlerin (U-Th) saptanmaması, Süstaşı amaçlı kullanım esnasında herhangi bir soruna neden olmaması açısından önemlidir. Bunun yanı sıra nispeten yüksek oranda kobalt elementinin varlığı, Al₂O₃ gibi bir miktar ton (muhtemelen mavi tonları) farklılığına neden olabilir.

Bölgede çalışma için hazırlanan örneklere ayrıca XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan XRD analizlerinde dumanlı kuvars minerallerinin düşük sıcaklık (573° C altı sıcaklıklarda) ve düşük basınç (2,5 GPa) altında gelişen alfa-kuvars piklerine yakın sonuçlar verdikleri gözlemlenmiştir. Bu kristallerin nispeten düşük basınç ve sıcaklıkta gelişmeleri, ortam koşullarının nispeten kristal büyüklüklerini sınırladığını akla getirmektedir.

6. SONUÇLAR

Dumanlı kuvars örneklerindeki XRF analiz sonuçlarına göre major oksitlerden SiO₂ %99,05-99,38 seviyesinde bulunmuştur. Bu sonucun, beklendiği üzere oldukça yüksek çıktığı görülmüştür. İncelenen dört farklı numunede gözlemlenen Fe₂O₃ kimyasal birleşimi, dumanlı kuvarsların geliştiği metamorfik kayalardaki radyoaktivite etkisi ile renk merkezlerinin oluşumunda etkili olabilmektedir. SMK-1 kodlu numunede saptanan Al₂O₃ varlığının ise yine renk merkezinde ton farklılığı oluşturabileceği düşünülmektedir. Bu Al₂O₃ varlığının kristal içerisinde homojen olarak

dağılmaması durumunda ise kristalin bazı zonlarında safsızlıklar olduğunu göstermektedir. İncelenen numunelerdeki SiO₂ bileşiminin yaklaşık %99 seviyesinde olduğunu göstermiştir. Bu sonuç numunelerin saflığının yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca incelenen numunelerde ise Co, Ni, V, Zn, Ga, As, Sr, Y ve Zr elementleri bulunmuştur.

Dumanlı kuvarslara uygulanan ICP-MS analiz radyoaktif bir elementin varlığını göstermemiştir. Dumanlı kuvarsların radyoaktivite etkisi ile geliştiği göz önünde bulundurulduğunda U-Th saptanmaması önemlidir. Bu durum, Al₂O₃ gibi bir miktar ton farklılığına sebebiyet verebilir ve ayrıca elde edilen sonuçlar ile açıklanabilir. Buna ilaveten hazırlanan örnekler XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan XRD analizlerinde dumanlı kuvars minerallerinin düşük sıcaklıkta ve düşük basınç altında gelişen alfa-kuvars piklerine yakın sonuçlar verdikleri elde edilmiştir. Bu kristallerin düşük basınç ve sıcaklıkta gelişmeleri, ortam koşullarının nispeten kristal büyüklüklerini sınırlandırdığından gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak dumanlı kuvars bir kuvars çeşididir ve griye veya kahverengiye yakın renkte, şeffaf ve kristal yapıdadır. Yarı kıymetli Süstaşı ya da mücevher taşı olarak bilinen dumanlı kuvars, özellikle aksesuarlarda veya süs objelerinin kullanımında tercih edilmektedir. Bu çalışmada, incelenen dumanlı kuvars mineralinin gemolojik özellikleri ile ülkemizde çıkarılan yerlerinin özellikleri, ülkemizdeki dumanlı kuvars işletmeciliğinin yeterince güçlü olmadığını göstermiştir. Bu sebepten dolayı dumanlı kuvarsların işlenmesi için gerekli devlet desteğinin verilmesi ve teşvikler ile beraber dumanlı kuvarsların ülkemizde işlenerek ihracatının artırılabilmesi düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar dumanlı kuvarsların sanayide kullanılmasının ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada kullanılan analizlerin temini için İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırmaları ve Laboratuvarına; analiz yorumlama ve kaynak temini konusunda katkı sağlayan Doç. Dr. Mustafa KUMRAL'a 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

Akarsu, B. ve Akarsu, B.. (2019). Bilimsel araştırma tasarımı-nicel, nitel ve karma araştırma yaklaşımları. *Cinius Yayınları*, İstanbul.

Akarsu, İ. (1969). Ege bölgesinin Babadağ ve Civarı jeolojisi. *TJK Bülteni*. 12, 1-9.

Akbudak, İ.K., Başibüyük, Z. ve Gürbüz, M. (2018). Yozgat "Aydıncık" Kalsedon-Ametist oluşumlarının mineralojisi-petrografisi ve ekonomikliğinin incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*. 9(1), 313-324.

- Akyol, G. (2020). Süs taşlarının endüstriyel alanda kullanımı ve pazarlama stratejileri. <http://degirmenderemyo.kocaeli.edu.tr/upload/duyurular/1312190833323ac3c.pdf> adresinden 27 temmuz 2021 tarihinde alınmıştır.
- Batman, A. (2015). *Öğütülmüş kuvars kumunun kilin mukavemet özelliklerine etkisinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Erzurum Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Cerda, R.M. (2014) *Understanding quartz crystals and oscillators*. Artech House, New York.
- Gümüş, A. (1969). Tipomorf mineraller, *Bilimsel Madencilik Dergisi*. 8(4), 223-232.
- Hatipoğlu, M. (1991). Minerallerin ve süstaşlarının doğal ve yapay renklenmelerin jeoloji mühendisliği. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Araştırma raporları*. FBE/ JEO-88-AR-205, 1-34.
- Hatipoğlu, M. ve Gökçen, N. (2007, Mart, 8-14). *Batı Anadolu'nun yarı kıymetli süstaşlarının başlıca mineralojik, jeolojik ve ekonomik nitelikleri*. 1th Industrial Materials Symposium of West Anatolia. İzmir. 438-447.
- Hatipoğlu, M., Buzlu, H. B., Babalık, H., Çoban, E. ve Koç, D. (2010). Aydın bölgesinin süs taşı kalitesinde dumanlı ve renksiz kuvars kristalleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Araştırma Raporları*. 1-2.
- Karaman, S. (2006). Yapı tuğlalarında renk oluşumu, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*. 9(1), 125-130.
- Koç, Ş., Baştuğ, A.Y. ve Çelik, H. (2014). İstanbul-Şile civarındaki kuvars kumlarının incelenmesi ve ekonomik öneminin değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri*. 1-32.
- Kun, N., Dora, Ö. ve Candan, O. (1986). Menderes Masifi'nde dev kuvars kristalleri. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*. 8, 192-200.
- Kurşun, İ. ve İpekoğlu, B. (1995, Nisan, 21-22). *Türkiye kuvars kumu potansiyeline genel bir bakış*. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir. 21-22.
- Kurt, B. (2019). *Karacasu (Aydın) civarındaki demir oksit oluşumlarının uydu görüntüleri ile incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Denizli.
- MTA (2020). Kayaçlar, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/muze/kayaclar> adresinden 27 Temmuz 2021 tarihinde alınmıştır.
- O'Brien, M.C. (1955) The structure of the color centers in smoky quartz. *Proceedings of The Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, London.
- Selim, H. (2015). Türkiye'nin değerli ve yarı değerli mücevher taşları. *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*, İstanbul.
- Smith, B.W. ve Rhodes, E.J. (1994). Charge movements in quartz and their relevance to optical dating. *Radiation Measurements*. 23(2-3), 329-333.

- Şen, B. ve Kök, U. (2018). Endüstriyel hammaddeler ve zenginleştirme yöntemleri: Kuvarlar. <https://slideplayer.biz.tr/slide/13980927/> adresinden 27 Temmuz 2021 tarihinde alınmıştır.
- Yüçetürk, G. (2010). Yapay Mermerde kullanılan kuvars ve kalsit minerallerinin fiziko-meknik özellikleri. *SDU International Journal of Technological Science*, 2(3), 72-80.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

NB-IOT VE LORA HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ*

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF NB-IOT AND LORA
COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Sümeyye YASİNTİMUR¹

Vedat TAVAS²

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
syasintimur@outlook.com

Geliş Tarihi / Received
08.04.2021

Kabul Tarihi / Accepted
08.06.2021

Öz

LPWAN teknolojilerinin düşük güç gereksinimleri, uzun menzile iletim yetenekleri, ölçeklenebilirlikleri, geniş alan kapsayıcılıkları gibi parametreler değerlendirildiğinde IoT uygulamalarındaki kullanımları günbegün artmaktadır. Bu çalışmada İstanbul'un Eyüpsultan ilçesinde bir sitede LoRa ve NB-IoT teknolojilerinin performansı değerlendirilmektedir. LoRa testleri koridorlarda bulunan gaz sayaçlarının üzerinde gerçekleştirilirken; NB-IoT testlerinde ise metal kapak ardındaki sayaç şaftları içerisinde gözlemler yapılmıştır. Katlarda LoRa testlerinde RSSI ve SF; NB-IoT'de ise RSSI değerleri kaydedilmiştir. Analizler LoRa için 14; NB-IoT için 16 paket üzerinde yapılmıştır. Sonuçlar gönderilen 30 paketin baz istasyonlarına kayıpsız bir şekilde ulaştığını gösterirken sinyal kalitesinin belirli noktalarda ideal aralıkta bulunmadığı gözlemlenmiştir. Bu şartlarda kurulum yapıldığı takdirde paket kayıplarının yaşanacağı öngörülmektedir. Ancak daha iyi bir gözlem için daha fazla paket üzerinde testler yapılmasının gerekliliği de belirtilmelidir.

Anahtar Kelimeler: LoRa, LoRaWAN, LPWAN, NB-IoT.

Abstract

Considering the parameters such as low power requirements, long-range transmission capabilities, scalability, and inclusiveness of LPWAN technologies, their use in IoT applications is increasing. In this study, the performance of LoRa and NB-IoT on a site in Eyüpsultan district of Istanbul is evaluated. While LoRa tests are carried out on the gas meters in the corridors; In the NB-IoT tests, observations were made inside the meter shafts behind the metal cover. RSSI and SF in LoRa; In NB-IoT, RSSI values are recorded. 14 for analyzes LoRa; Made on 16 packages for NB-IoT. While the results showed that the 30 packets sent reached the base stations, it was observed that the signal quality was not ideal at certain points. It is predicted that the packages will be lost when installed under these conditions. However, it should be noted that tests on more packages are necessary for a better observation.

Keywords: LoRa, LoRaWAN, LPWAN, NB-IoT.

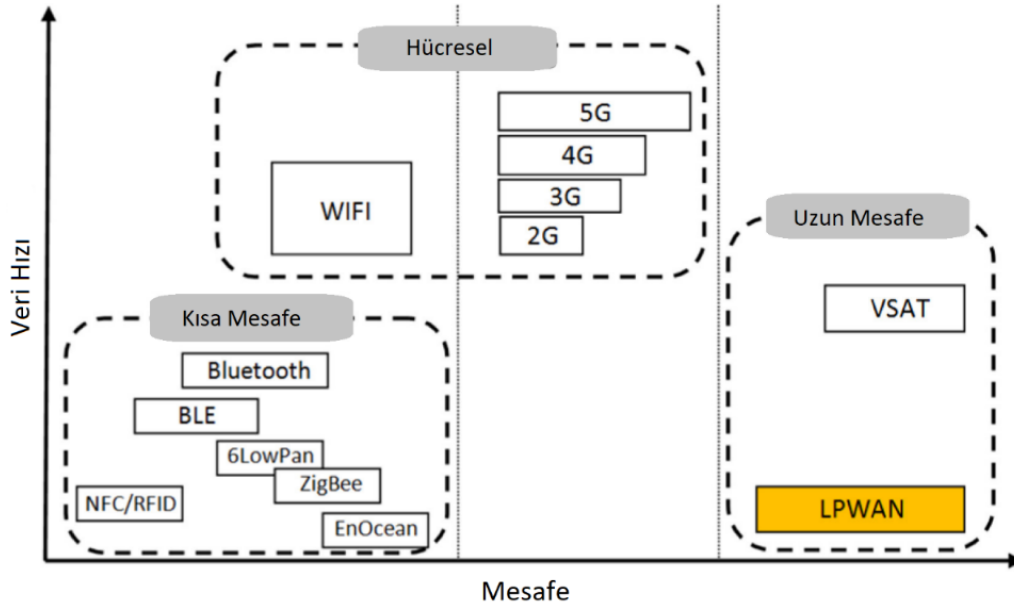
*Bu yayın Sümeyye YASİNTİMUR isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. syasintimur@outlook.com, [Orcid.org/0000-0003-2352-0343](https://orcid.org/0000-0003-2352-0343).

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. vtavas@ticaret.edu.tr, [Orcid.org/0000-0003-2945-9846](https://orcid.org/0000-0003-2945-9846).

1. GİRİŞ

Literatürde LPWAN (Low Power Wide Area Network, Düşük Güç Geniş Alan Ağı) olarak yer alan kavramın çatısı altında bulunan farklı haberleşme teknolojilerinin kullanımına birçok Dünya şehirlerinde rastlamak mümkündür. Bu teknolojilerin popülaritesinin gün geçtikçe artıyor oluşunun arkasında yatan birçok sebep bulunmaktadır. Bunların başında hiç kuşkusuz gereksinim duydukları güç miktarının düşük olması, enerji verimliliğinin yüksek olması, ölçeklenebilirlik, iletim yapılan mesafenin uzunluğu ve geniş alan kapsayıcılığı gelmektedir (Kabalcı & Ali, 2019). Özellikle IoT (Internet of Things, Nesnelerin İnterneti) teriminin hayatımıza girmesi akabinde sürekli olarak internete bağlı cihaz sayısının artmasıyla birlikte (Lueth, 2018) bu kaynakların pil ömürlerinin uzun ve dolayısıyla enerji verimliliklerinin yüksek olması talebi doğmuştur. Bu noktada LPWAN başlığı altında bulunan birçok haberleşme teknolojisinin uzun pil ömrü vaadi, ilgili teknolojiler özelinde literatür taramaları, simülasyonlar ve gerçek ortam testlerine yönelimi beraberinde getirmiştir. Bunun yanı sıra bu teknolojilerin en büyük vaatlerinden biri de uzun mesafelere iletim yapabilme kabiliyetleridir. Bu noktada Şekil 1 aracılığı ile de görülebileceği üzere LPWAN teknolojileri, kısa menzil (BLE, 6LowPan, Bluetooth, EnOcean, ZigBee, NFC/RFID) ve hücresel (2G, 3G, 4G ve 5G, Wi-Fi) radyo iletişim yöntemlerinden çok daha iyi bir iletim mesafesi sunmaktadır (Mekki ve ark., 2019).



Şekil 1. Radyo İletişim Teknolojilerinin Mesafe ve Veri Hızı Kapasiteleri (Mekki ve ark., 2019)

Ancak uzun mesafeye iletim ve enerji verimliliği gibi parametrelerin var olabilmesi için ilgili teknolojilerin hücresel ve birçok kısa mesafe haberleşme yöntemlerinin bazı yeteneklerinden feragat etmeleri gerekmektedir. Bunların başında çok yüksek veri hızları ve düşük gecikme oranları gelmektedir. Bu iki faktörün elzem olduğu noktalarda LPWAN teknolojilerinin kullanımı beklenen faydayı sağlamayacaktır. Örnek olması adına video izleme sistemleri, akıllı ulaşım ve lojistik faaliyetleri gösterilebilir (Adelantado ve ark., 2017). Bu doğrultuda ilgili iletişim yöntemlerinin gecikmeye duyarlılığı olmayan ve günün her saatinde veri iletim mecburiyeti bulunmayan uygulamalar için tercih edilmesinin daha iyi sonuçlar doğurması beklenmektedir. Bu çalışmadaki gaye sayaçların uzaktan izlenmesini sağlamak olduğundan ve sayaçların gecikme hassasiyeti, sürekli veri iletim gereksinimlerinin bulunmamasının yanı sıra pil ömürlerinin uzun olması ihtiyaçları düşünüldüğünde ilgili çalışma özelinde LPWAN çatısı altında yer alan LoRa (Long Range, Uzun Menzil) ve NB-IoT (Narrowband IoT, Dar Bant Nesnelerin İnterneti) iletişim protokolleri değerlendirilmiştir.

Literatürde LPWAN teknolojilerinin teorik olarak kıyası, seçilen pilot bölgelerde simülasyon programları aracılığı ile performans analizi ve gerçek ortam testlerini içeren birçok farklı çalışma yayınlanmıştır. Bu kapsamda Mekki ve ark. (2019) LPWAN başlığı altında yer alan LoRa, NB-IoT ve Sigfox iletişim yöntemlerinin teorik olarak kıyasını yapmaktadırlar. İlgili çalışmada her üç teknolojinin de literatürde yer alan teknik özelliklerine değinilmiş sonrasında ilgili teknolojiler bazı IoT faktörleri çerçevesinde kıyaslanmış ve son olarak ise belirli IoT uygulamalarında hangi teknolojinin tercih edilmesi gerektiğine değinilmiştir.

Paredes ve ark. (2019) LoRa'nın performansını ölçmek adına İtalya'da üç farklı senaryoyu içerecek şekilde testler yapmışlardır. İlk iki senaryoda alıcı ve vericilerin oluşturduğu noktadan noktaya iletişim yöntemi, sonuncu senaryoda ise bir alıcı ve birden fazla vericiden oluşan yıldız ağ topoloji modeli kullanılmıştır. Bu testler boyunca SNR (Signal to Noise Ratio, Sinyal Gürültü Oranı), RSSI (Received Signal Strength Indication, Alınan Sinyal Gücü Göstergesi), spektrum analizi ile alınan güç, kayıp paket oranı, gibi parametreler gözlemlenmiştir. Tüm bu sonuçlar doğrultusunda LoRa'nın kentte kullanılabilirliğine dair bir çıktı oluşmuştur.

Vatcharathiansakul ve ark. (2017), LoRaWAN'ın hem iç hem de dış mekân performans analizini yapabilmek adına Tayland'ın Bangkok kentinde bir dizi test gerçekleştirmişlerdir. Testlerde kullanılan bir tane uç cihaz kentin farklı konumlarına yerleştirilerek SNR ve kayıp paket oranı gibi parametreler gözlemlenmiştir. Özellikle iç mekânda gerçekleştirilen testlerde paket kayıp oranlarının çok yüksek olmasına bakılacak olursa eğer sonuçların ideal aralıkta bulunmadığı söylenebilmektedir.

Li ve ark. (2017), LoRa teknolojisini yelken izleme sistemine entegre edebilmek adına bir dizi deney yapmışlardır. İlgili çalışmada Çin'in Şangay kentinde bir gölde ve Rio yelken sahasında birçok noktada gözlemler yapılmış ve sonrasında gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu testler sonucunda LoRa haberleşme teknolojisinin Yelken İzleme Sistemi için uygulanabilirliğine karar verilmiştir. Ancak tepelerin, binaların, ağaçların ve dalgaların LoRa'nın performansını etkilediği de önemli bir çıktı olarak belirtilmiştir.

Poddar ve ark. (2020), NB-IoT ve SigFox'un kapsamına dair Estonya'nın iki üniversitesinde yer alan iki farklı kampüste bazı testler gerçekleştirmişlerdir. Bu testlerde NB-IoT için RSSI, RSRP (Reference Signal Received Power, Alınan Referans Sinyali Gücü), RSRQ (Reference Signal Received Quality, Alınan Referans Sinyali Kalitesi) değerleri hesaplanırken SigFox için yalnızca RSSI değeri gözlemlenmiştir. Çalışmanın çıktılarına bakılınca dış mekân ve iç mekân ölçümlerinde hem Sigfox'un hem de NB-IoT'nin umut verici sonuçlar sergilediği gözlemlenmiştir. Buna ilaveten NB-IoT, derin iç mekân söz konusu olduğunda iki kampüste farklı paket kayıp oranlarına sahip olmuştur. Ayrıca derin iç mekânda NB-IoT'nin paket kayıp oranının Sigfox'a göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

2. TEORİ

Bu kısımda LoRa ve NB-IoT haberleşme teknolojilerinin teorik açıklamalarına yer verilmiştir. Bölüm 2.1'de LoRa ve LoRaWAN teknolojilerine; Bölüm 2.2'de ise NB-IoT teknolojisine değinilmiştir.

2.1.LoRa ve LoRaWAN

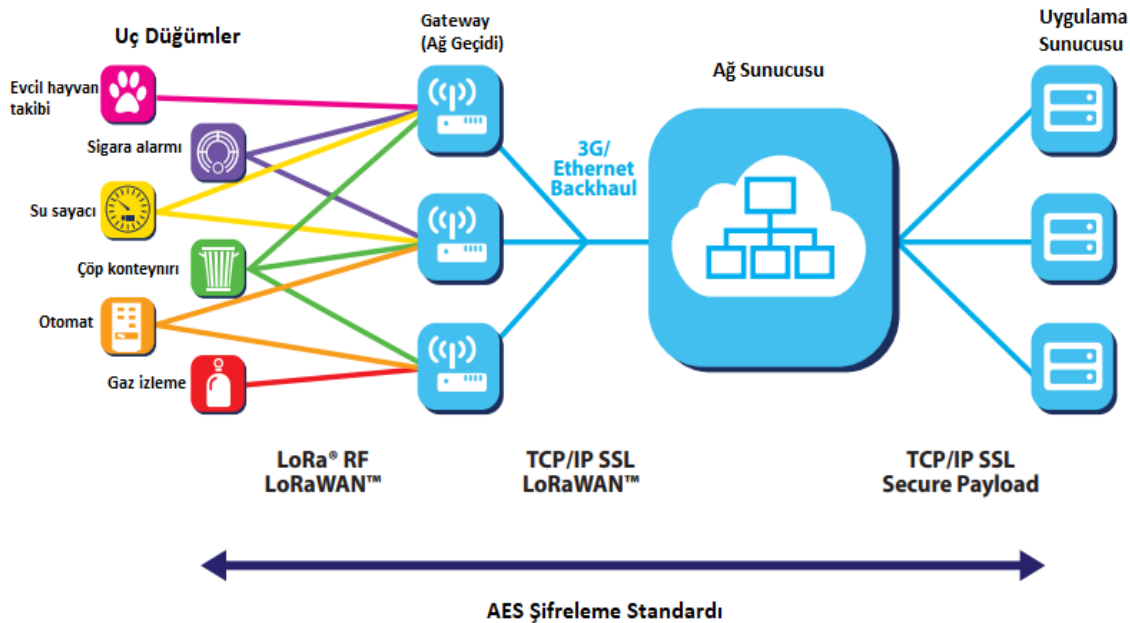
LoRa 2009 yılında Cyclo adlı bir Fransa girişimi aracılığıyla ilan edilmiş ve 2012 yılında Semtech tarafından satın alınarak patentlenmiştir. Buna ilaveten 2015 yılında LoRa-Alliance tarafından standartlaştırılması tamamlanmıştır (Lalle ve ark., 2019). Bu tarihten itibaren birçok ülkede

kullanılmaya başlanan LoRa şu anda 162 ülkede aktif olarak kullanılmaktadır. LoRa lisanssız ISM (Industrial Scientific Medical, Sınai, Bilimsel ve Tıbbi Cihaz) frekans bandında yayın yapmaktadır ve bu da kıtalar arası farklı frekans değerlerini işaret etmektedir. Bu değerler Avrupa’da 868 MHz, Kuzey Amerika’da 915 MHz ve Asya’da 433 MHz’dir (LoRa Alliance, 2021).

LoRa uzun mesafe iletimi sağlayabilmek adına kullanılan kablosuz modülasyon yöntemi veya bir diğer ifadeyle fiziksel katmandır. Geleneksel kablosuz haberleşme teknolojilerinin fiziksel katmanda kullandıkları bir modülasyon olan FSK (Frequency-shift keying, Frekans Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonunun aksine LoRa, CSS (Chirp Spread Spectrum) modülasyonu kullanılmaktadır. Bu sayede düşük güç tüketimi yeteneğine ilaveten uzun iletim mesafesi olanağına da sahip olmaktadır (LoRa Alliance, 2015).

LoRaWAN ise LoRa’nın ağ mimarisi ve iletişim protokolüdür. Uç cihazın hizmet kalitesi, pil ömrü ve güvenliğini belirleyen en önemli faktörler bu ağ mimarisi içerisinde yer almaktadır. LoRaWAN yıldız ağ topolojisini kullanır (LoRa Alliance, 2015).

Şekil 2 incelendiğinde ilgili topolojide sürecin üç aşamalı bir dizilimi olduğu görülebilir. Bu ilerleyişte uç düğümler (sayaçlar, sensörler gibi tüm akıllı cihazlar) aracılığı ile toplanan veriler ağ geçidine iletilir. Bu uç düğümler herhangi bir ağ geçidi ile ilişkilendirilmemektedir. Uç düğüm tarafından iletilen veriler onu duyabilme ihtimaline sahip tüm ağ geçitleri tarafından dinlenir. Bu sayede paket kayıplarının önüne geçmek hedeflenmektedir (LoRa Alliance, 2015). Topolojinin ikinci adımında ağ geçidine iletilen veriler bir ana taşıyıcı aracılığıyla (hücresel, Wi-Fi, uydu ya da Ethernet) bulut tabanlı ağ sunucusuna iletilir. Güvenlik kontrolleri ve iletilen çoklu paketlerin filtrelenmesi bu aşamada sağlanır. Son olarak ağ sunucusunda hazır halde bulunan veriler dilendiği takdirde uygulama sunucularına iletilir.



Şekil 2. LoRaWAN Mimarisi (LoRa Alliance, 2015)

Yukarıda da değinildiği üzere Lora CSS modülasyonunu kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra LoRa sabit bir bant genişliği boyunca kendi hızını ayarlayabilmektedir. Bunu yapıyor olmasının en büyük gerekçesi ağ performansının düzeyini korumaktır. Yani LoRa farklı veri hızları ile iletim yapabilmektedir. LoRa’nın farklı veri hızlarını ifade eden kavram literatürde SF (Spreading Factor, Yayılma Faktörü) olarak yer almaktadır. SF, Avrupa’da 7 ile 12 arasında değer almakta bu da LoRa’nın 6 farklı veri hızına sahip olduğunu göstermektedir. LoRa farklı SF değerlerinde

saniyede 300 bit ile 50 kilobit veri hızında yayın yapabilmektedir (Mekki ve ark., 2019). LoRa'nın veri hızındaki değişimin daha iyi kavranabilmesi adına Shannon-Hartley teoremine değinilmesi gerekmektedir.

Shannon-Hartley teoremi gürültülü bir ortamda belirli bant genişliğine sahip kanal üzerinde gönderilebilecek en çok veri miktarını ifade eder. (Semtech, 2015). Denklem 1 aracılığı ile bu teoremi ifade eden formüle erişilebilir.

$$C = B \times \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (1)$$

Bu formülde C kanal kapasitesini (bit/saniye) ifade ederken B kanal bant genişliğini (Hertz, Hz), S ortalama alınan sinyal gücünü (watt) ve N ortalama gürültü veya girişim gücünü ifade eder. S/N ise sinyal gürültü oranını temsil etmektedir (Semtech, 2015).

Formül yeniden düzenlendiğinde Denklem 2'de gösterildiği şekle gelmektedir.

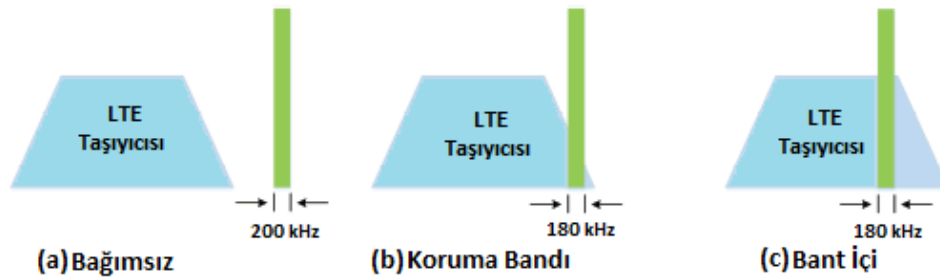
$$\frac{C}{B} = 1,433 \times \frac{S}{N} \quad (2)$$

Denklem 2 incelendiğinde kanal kapasitesinin (C) artışının C/B oranını artırdığı ve bu durumun da sinyal gürültü oranını (S/N) artırdığı görülmektedir (Semtech, 2015). LoRa bu artışın telafi edilebilmesi noktasında farklı yayılma faktörleri ile bir kanal optimizasyonu sunmaktadır.

2.2. NB-IoT

NB-IoT 2016 yılında 3GPP'nin 13. sürümde bahsedilmiş ve standartlaştırılmıştır (Lalle ve ark., 2019). Bu tarihten itibaren Dünya genelinde kullanımı devam etmektedir. NB-IoT'nin LoRa'dan temelde en büyük farklılığı LoRa'nın lisanssız ISM bandını kullanıyor olmasına karşın NB-IoT lisanslı bir frekans olan LTE (Long Term Evolution, Uzun Süreli Evrim) bandını kullanmaktadır. Bu da sıfırdan bir kurulum süreci ve kurulum maliyeti yerine şehirlerin birçok noktasında halihazırda bulunan mevcut baz istasyonlarının kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

NB-IoT lisanslı LTE frekans bandını kullanırken üç farklı çalışma modunda çalışabilmektedir. Şekil 3'ten de görüleceği üzere bunlardan ilki bağımsız çalışma modudur. Bu çalışma biçiminde NB-IoT frekanslarının yerleşimi, 200 kHz bant genişliğine sahip bir veya daha fazla Fiziksel Kaynak Bloğu (PRB) alan mevcut frekans spektrumuna tahsis edilir. İkinci çalışma modunun ise koruma bandı modu olduğunu söylenebilir. Bu senaryoda, NB-IoT frekansı, 180 kHz bant genişliğine sahip bir veya daha fazla Fiziksel Kaynak Bloğu (PRB) alan mevcut LTE frekansının koruma bandını kullanır. Son mod ise literatürde bant içi çalışma modu olarak yer almaktadır. NB-IoT frekansı, 180 kHz bant genişliğine sahip bir veya daha fazla Fiziksel Kaynak Bloğu (PRB) alan mevcut LTE frekans bloğu içinde kullanılır. (Chen ve ark., 2017)



Şekil 3. NB-IoT Çalışma Modları (Chen ve ark., 2017)

NB-IoT bir 3GPP standardı olmasına karşın uzun pil ömrü vaadini gerçekleştirmek adına çok daha gelişmiş güç tasarrufu şemalarına sahiptir. Bu doğrultuda NB-IoT uzun pil ömrünü ve enerji verimliliğini sağlamak adına eDRX (Extended Discontinuous Reception, Artırılmış Kesintili Alım) ve PSM (Power Saving Mode, Güç Tasarruf Modu) yöntemlerini kullanmaktadır (Chen ve ark., 2017). PSM modunda ağ üzerinde yer alan cihazlar faaliyetlerini neredeyse durdurup derin bir uyku durumuna geçmekte ve bu durumda cihaza ağ üzerinden ulaşım sağlanamamaktadır. Ancak bu tasarımda veri iletim zamanlarında cihazın kendiliğinden uyanması mümkündür. 3GPP tarafından geliştirilen ve 3GPP Rel.13'te tanımlanan eDRX modunda ise ağ üzerinde yer alan cihazlar belirli süreliğine bekle durumuna geçmektedirler. Bu moddayken cihaz tam anlamıyla bir ağ bağlantısı kurmadan veri iletim göstergelerini dinleyebilmekte ve bu dinleme periyodu cihazın tam performans bir halde veriyi dinleme periyodundan hiç kuşkusuz daha kısa olacağı için pil ömrünün azami düzeye çıkarılması sağlanabilmektedir (Sultania ve ark., 2019).

NB-IoT yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı olmak üzere iki yönlü veri iletimi yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. NB-IoT aşağı bağlantı iletim şemasında da yukarı bağlantı iletim şemasında da en az 180 kHz bant genişliğine ihtiyaç duymaktadır (Wang ve ark., 2017).

NB-IoT aşağı bağlantı iletim şemasında yer alan her bir çerçeve 10 alt çerçeveyi içermekte ve bu çerçevelerin 1 ms uzunluğunda olduğu bilinmektedir. İlgili 10 alt çerçevenin her biri 7 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama) uzunluğunda iki yuvadan oluşmaktadır. En küçük iletim birimi olan bir kaynak elemanı bir alt taşıyıcı x bir sembol olarak formüle edilmektedir. Kaynak elemanı, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, Dört Fazlı Kaydırılmalı Anahtarlama) için 2 bit, 16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation, 16-Karesel Genlik Modülasyonu) için 4 bit ve 64-QAM için 6 bit olarak değer alabilmektedir (Malik ve ark., 2018).

NB-IoT, yukarı bağlantı iletim şemasında ise tek ve çok perdeli iletimleri destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Çok perdeli iletimde SC-FDMA (Single Carrier Frequency-Division Multiple Access, Tek Taşıyıcı Frekans Bölmeli Çoklu Erişim) şemasını kullanmaktadır. Bu şema 15 kHz alt taşıyıcı aralığı ve 0,5 ms yuvalı 180 kHz toplam bant genişliğine sahiptir. Tek perdeli iletimde ise 15 kHz ve 3.75 kHz alt taşıyıcı aralığını desteklemektedir (Malik ve ark., 2018).

3. METODOLOJİ VE UYGULAMA

Bu çalışmada hem doğalgaz hem de su sayaçları için çıktı oluşturulabilmesi adına her iki sayaç tipinin de yer aldığı ortak bir pilot bölge belirlenmiştir. Bu bölge Eyüpsultan ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve her bloğu 12 katlı olan dört bloklu bir sitedir. Her bir bloğun yatay uzunluğu 55 metre, yatay genişliği 22 metre, site genişliği 160 metredir. Bu sitenin üç bloğu test için kullanılmış olup bir blok LoRa testleri, ikinci blok NB-IoT testleri ve üçüncü blok ise LoRaWAN ağ geçidinin konumlandırılması için tercih edilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde görüleceği üzere sitede yer alan bloklar soldan sağa doğru A1, A2, A3 ve A4 olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 4. Site Planı

Şekil 4'te de görülebileceği üzere LoRaWAN ağ geçidi A2. Bloğun bina girişi referans alınarak sol cephesinin çatı katına gerekli kablolar yapılarak, herhangi bir montaj aparatı kullanılmadan konumlandırılmış ve A1. Bloğun katlarında LoRa sinyal seviyesinin kalitesine dair ölçümler kayıt altına alınmıştır. A4. Blokte ise NB-IoT testleri yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. LoRa tarafından gönderilen paket içerisinde RSSI ve SF değerleri not alınırken; NB-IoT testlerinde ise RSSI değeri değerlendirilmiştir.

RSSI (Received Signal Strength Indication, Alınan Sinyal Gücü Göstergesi), bant genişliği içindeki radyo sinyal gücüdür. Genellikle dBm (Decibel Milliwatt, Desibel Miliwatt) cinsinden hesaplanmakta ve anten tarafından alınan gücü ifade etmektedir (Poddar ve ark., 2020). İlgili teknolojilerin değerlendirilmesi noktasında sinyalin gücünün önemli bir parametre olduğu düşünülerek her iki iletişim yöntemi testinde de RSSI değerinin gözlemlenmesi uygun görülmüştür. Bunun yanı sıra LoRa teknolojisi için Bölüm 2'de de bahsedildiği üzere SF (Spreading Factor, Yayılma Faktörü) değerinin önemi göz ardı edilmeden bir değerlendirilme yapılmıştır.

Bloklarda yer alan su sayaçları her katta farklı adette olmakla beraber bina girişlerine göre sağ, sol, ön ve arka olmak üzere sayaç şaft tüneli içinde ve metal kalın kapak ile kapalı konumdadır. Doğalgaz sayaçları da aynı şekilde her katta farklı adette olmakla beraber bina koridorlarında açık alanda bulunmaktadır. Her iki testte de sol ve sağ cephe olmak üzere iki farklı konumda gözlemler yapılmıştır. NB-IoT testleri su sayaçları referans alınarak yapıldığından bahsi geçen metal kalın kapak arkasındaki sayaç şaftları içine bırakılan NB-IoT özellikli su sayacı bir el ile tetiklenecek şekilde yayın yaptırılmıştır. LoRa testleri ise gaz sayaçları referans alınarak yapıldığından manyetik alan okuyuculu LoRa sensör, koridorlarda yer alan gaz sayaçlarının üzerine bırakılarak gerekli gözlemler sağlanmıştır.

NB-IoT testinde kullanılan dijital su sayacı mevcut GSM baz istasyonunu altyapı olarak kullanmakta ve iletişim kurabilmek adına herhangi bir ek cihaza (modem, ağ geçidi vb.) ihtiyaç duymamaktadır. Kullanılan NB-IoT teknolojisinin bant genişliği 200 kHz.'dir. Kullanılan sayacın yayın yaptığı sinyalin gücü yaklaşık 23 dBm ve minimum alıcı hassasiyeti -129 dBm seviyesindedir. Sayaç yayın yaptığı zamanlarda yaklaşık 110 mA ve yayın yapmadığı zamanlarda (uyku durumunda) 20 μ A güç tüketmektedir. Sayaçta kullanılan pil 3.6 volt, 8.5 Ah lityum pildir.

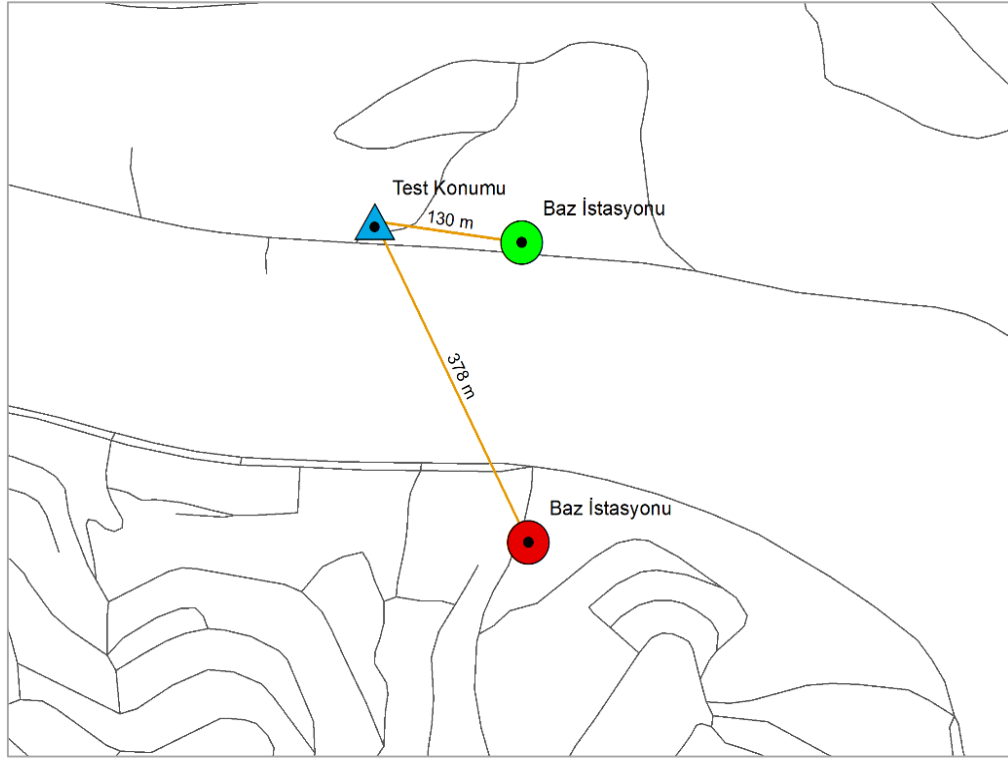
LoRa testlerinde ise analog sayaçları dijital sayaca dönüştürmek amacıyla tercih edilen manyetik alan okuyucu LoRa sensörü kullanılmıştır. Bu sensör doğalgaz sayacının son hanesinde bulunan mıknatıs her döndüğünde ürettiği manyetik alanı okuyup önceden belirlenen endeks değerinin üzerine ekleyerek mevcut endeksi dijital olarak okuyabilmektedir. Şekil 5’te yer alan topolojiden de görüleceği üzere endeks değeri LoRa aracılığı ile LoRaWAN ağ geçidine iletilmekte; bu ağ geçidi tarafından alınan veri MQTT aracılığı ile bulut ortamına oradan da IoT Platformu’na aktarılmaktadır. Bahsi geçen manyetik alan okuyucu LoRa sensörü -138 dBm alıcı hassasiyetine sahiptir. Varsayılan veri gücü 25 mW iken maksimum veri gücü 100 mW olacak şekilde tasarlanmıştır. Kısıtlı kentsel koşullarda radyo kapsama alanı 5 km, görüş alanı içinde radyo kapsama alanı ise 15 km olarak belirtilmiştir.



Şekil 5. LoRa Test Senaryosu Topolojisi

Testlerde kullanılan LoRaWAN ağ geçidi aynı anda birden fazla kanalda çalışmasına izin veren Semtech SX1301 yonga setini kullanmaktadır. Alıcı hassasiyeti -140 dBm ve çıkış gücü maksimum 27 dBm seviyesindedir. 8 kanallıdır ve Avrupa’da yayın yaptığı frekans bandı 863 ile 870 MHz arasında değişmektedir. 10 km geniş kapsama alanı vaadi bulunmaktadır.

NB-IoT özellikli sayaç içerisinde yerel bir ağ operatörünün SIM (Subscriber Identity Module, Abone Kimlik Modülü) kartı bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı bahsi geçen bölgeyi besleyen baz istasyonunun konumu araştırıldıktan sonra bölgeye yakın iki adet baz istasyonu olduğu gözlemlenmiştir. Sinyalin bu istasyonlara ulaştığı düşünülmektedir. Şekil 6’dan da görülebileceği üzere iki baz istasyonundan biri siteye yaklaşık 380 metre kuşbakışı mesafede bulunurken diğeri yaklaşık 130 metre kuşbakışı mesafede bulunmaktadır.



Şekil 6. NB-IoT Test Konumu ile Baz İstasyonları Arasındaki Uzaklık

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

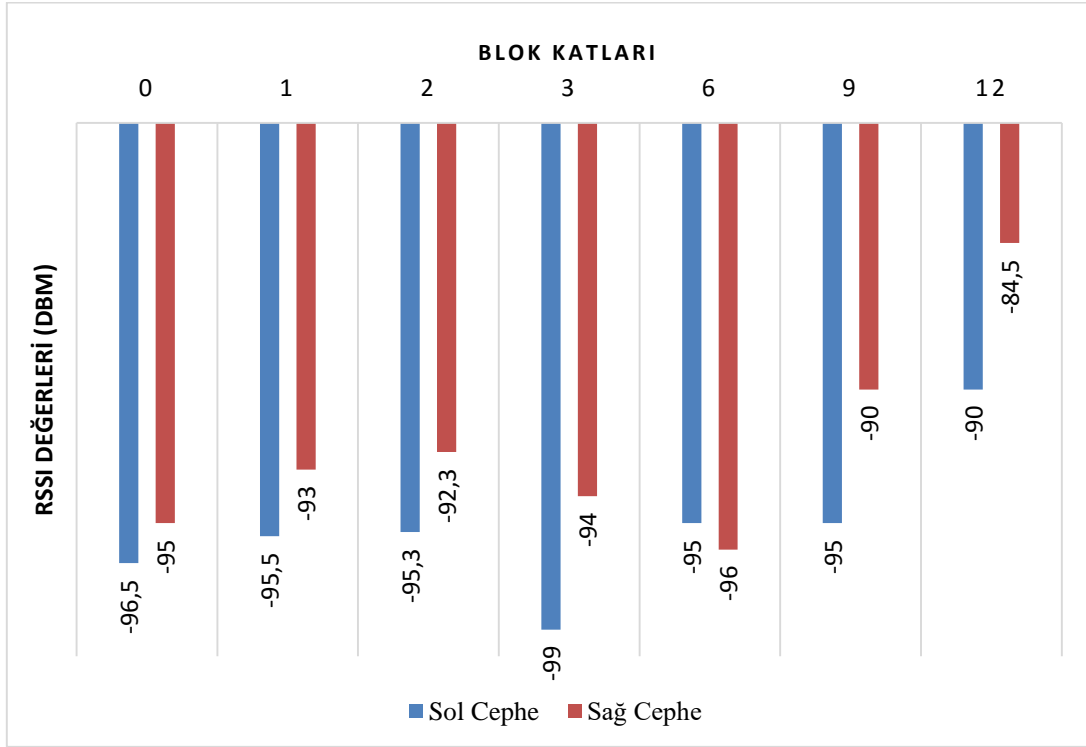
Testler yaz ayının sonlarına doğru birer gün arayla bahsi geçen bloklarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te yer alan A1. Blok LoRa testlerinin gerçekleştirildiği alandır. LoRaWAN ağ geçidi A2. Bloğun bina girişi referans alınarak sol cephesinin çatı katına gerekli kablolar yapılarak herhangi bir montaj aparatı kullanılmadan konumlandırılmıştır. NB-IoT testi ise LoRa testinden bir gün sonra A4. Bloкта yapılmıştır. Her bir testte elektronik cihazlar katlarda gezdirilmiş ve değerler kaydedilmiştir. LoRa testlerinde manyetik alan okuyuculu LoRa sensörüne her ölçüm alanında yeni bir endeks değeri atandıktan sonra, bu değer hem ağ geçidi arayüzü üzerinden hem de verinin gönderildiği platform üzerinden kontrol edilerek gönderilen verinin doğruluğundan emin olunmuştur. NB-IoT testinde ise RSSI değerleri sayaç ekranından okunarak sonrasında verinin iletildiği Platform üzerinden kontrol edilmiştir. Testler 0, 1, 2, 3, 6, 9 ve 12. katlarda bina girişi referans alınarak sol ve sağ cephe olarak ikiye kez tekrarlanmıştır. LoRa testi için 14; NB-IoT testi için ise 16 paket gönderilmiştir.

Binalar İstanbul'da sıklıkla görülen betonarme yapıdadır. Bloğun çevresinde veri iletimini olumsuz etkileyecek ve gürültüyü artıracak etkiye sahip binalar yer almaktadır. Bu haliyle İstanbul'un bir örneğini oluşturuyor oluşu bölgenin tercih edilirliliğini bu çalışma için artırıcı yönde bir etki oluşturmuştur.

4.1. LoRa Testi

LoRa testleri Şekil 4'te görülen A1. Bloкта gerçekleştirilirken LoRaWAN ağ geçidi A2. Bloğun bina girişi referans alınarak sol cephesine konumlandırılmıştır. Testler 0, 1, 2, 3, 6, 9 ve 12. katlarda bina girişleri referans alınarak sol ve sağ cephe olarak iki farklı noktada yapılmıştır. LoRa haberleşme teknolojisi testlerinde kaydedilen RSSI değerlerine Şekil 7 aracılığı ile ulaşılabilir. Verilerin iletildiği ağ geçidi arayüzündeki bulgular incelendiğinde gönderilen 14 paketin de ağ geçidine ulaştığı sonucuna varılabilir. Bu da herhangi bir paket kaybı yaşanmadığını

göstermektedir. Ancak uç düğüm aracılığı ile iletilen verilerin ağ geçidine ulaşması noktasında zaman gecikmesi sorunu yaşandığı gözlemlenmiştir.

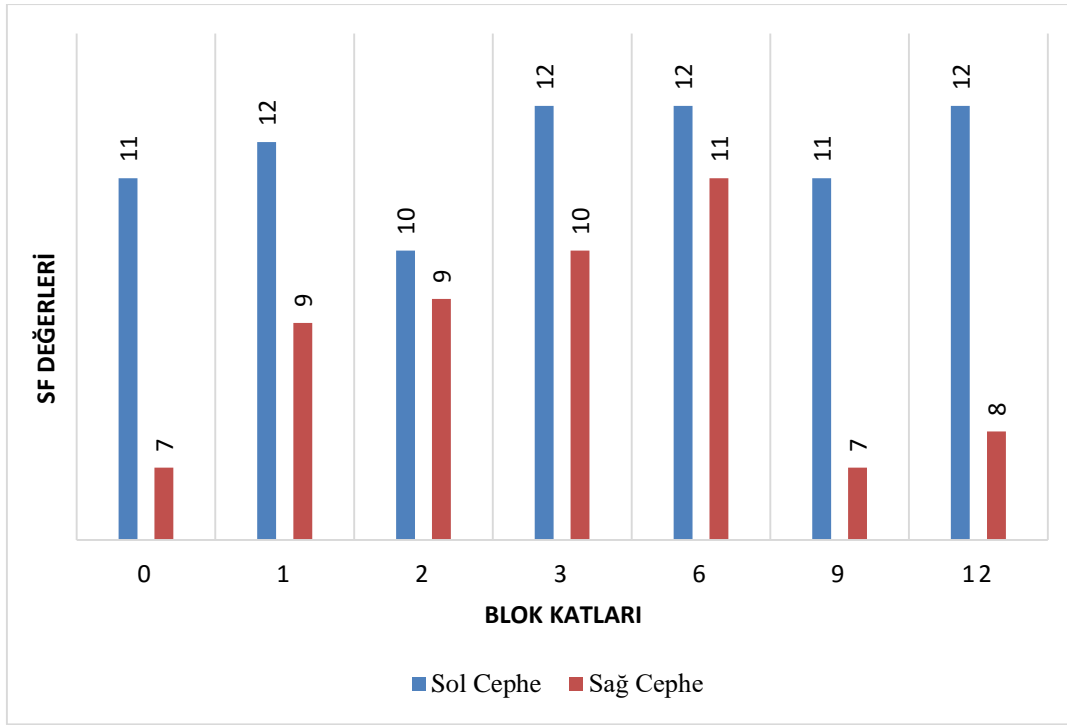


Şekil 7. LoRa Testi RSSI (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi) Değerleri

Şekil 7 incelendiğinde binanın her iki cephesinde de ara katlar hariç uç düğümün yukarı katlara çıkması ile sinyalin gücünün iyileştiği görülebilmektedir. Ancak her iki cephede de katlar arası geçişlerde doğrusal bir bağlantı kurulamamaktadır. Şekil 4 incelendiğinde A1. Bloğun sağ kanadı ile LoRaWAN ağ geçidinin konumlandırıldığı A2. Bloğun sol kanadının birbirine daha yakın olduğu ve diğer cepheye nazaran arada bulunan engel sayısının çok daha az olduğu görülebilmektedir. Bu durum sağ cephedeki sinyalin kalitesinin sol cephedeki sinyalin kalitesinden genel olarak daha iyi oluşunu açıklamaktadır.

Yukarı katlara çıktıkça sinyalin gücünün artması testin gerçekleştirildiği betonarme yapı binada sinyalin katlar arası geçişlerde engellendiğini göstermektedir. Buna ilaveten sol ve sağ cephede yukarı çıktıkça sinyalin gücünün iyileşmesi ağ geçidi ile sensör arasındaki mesafenin sinyalin kalitesini olumsuz olarak etkilediği çıktısını da vermektedir.

Ara katlar olarak değerlendirilecek üç ve altıncı katlarda ise hem sağ hem de sol cephede sinyalin gücünün bir önceki katlara göre düştüğü gözlemlenmiştir. Manyetik alan okuyuculu LoRa sensörü ile ağ geçidi arasındaki mesafenin azalmasının sinyalin gücünü iyileştiremiyor oluşu bu parametrenin sadece mesafe ile ilişkili olmadığını göstermektedir. Ayrıca aynı cephedeki ölçümler düşünüldüğünde yukarı katlara çıkıldıkça manyetik alan okuyuculu LoRa sensörü ile ağ geçidi arasındaki engelin niteliğinin değişmediği düşünülürse bu duruma neden olan parametrenin iki cihaz arasındaki engelin niteliği ile ilişkili olmadığı da görülebilmektedir. Bu duruma neden olan parametrenin uç düğümün anteni ile ağ geçidinin anteni arasındaki açı olduğu değerlendirilmektedir. Sinyalin bu görüş açısındaki değişikliklerden etkilendiği görülmektedir. LoRa testlerinde kaydedilen SF değerlerine Şekil 8 aracılığı ile ulaşılabilir.



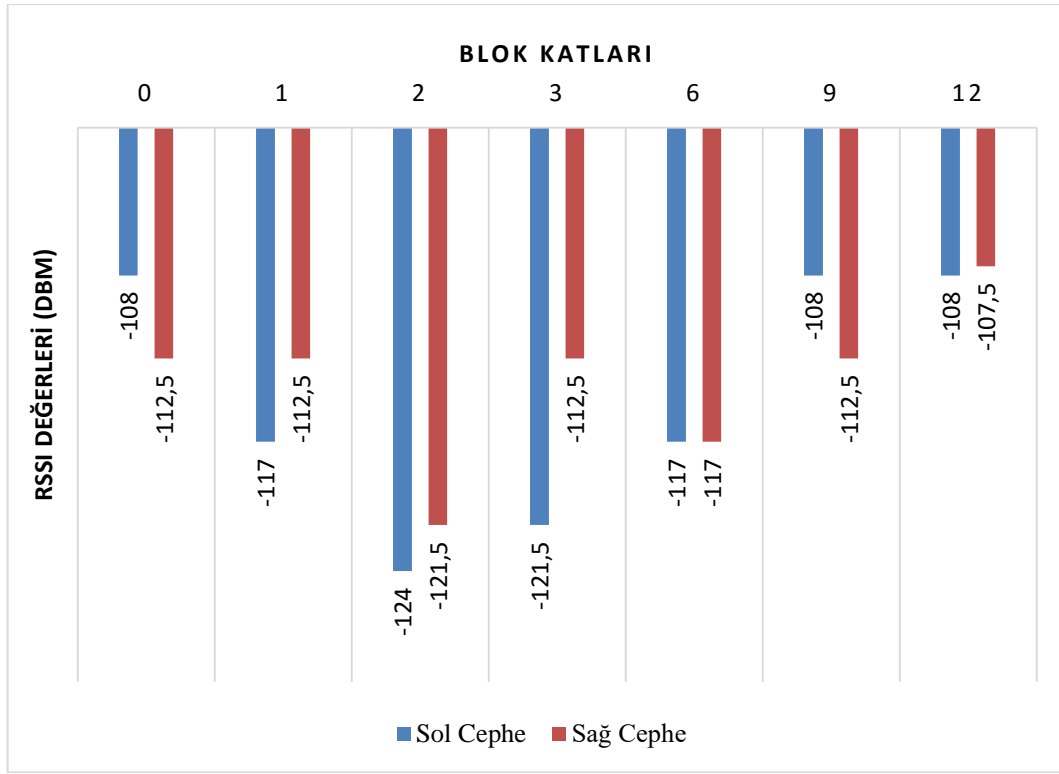
Şekil 8. LoRa Testi SF (Spreading Factor, Yayılma Faktörü) Değerleri

Şekil 8 incelendiğinde her iki cephede de katlar arasındaki geçişlerde veri hızları arasında doğrusal bir bağlantı kurulamadığı görülebilir. Grafik irdelenecek olursa eğer tüm katlarda sağ cephedeki ölçümlerde veri hızı sol cepheye kıyasla daha hızlıdır. Bu da RSSI değerlerinde olduğu gibi LoRaWAN ağ geçidinin konumunun A1. bloğun sağ cephesine daha yakın bulunmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla iletilen sinyalin baz istasyonuna ulaşması esnasında karşılaşılan engel sayısı sol cepheye nazaran daha azdır.

Sağ cephede ara katlarda orta ve yavaş bandında seyreden veri hızı yukarıya doğru hızlı durumuna geçmektedir. Bu da yukarı katlarda ağ geçidi ile manyetik alan okuyuculu LoRa sensörü arasındaki iletişimin sorunsuz olarak yapıldığını ve herhangi bir sorunla karşılaşmayan sinyalin veri hızını artırarak kanalı işgal etmediğini göstermektedir. Sol cephede ise genel olarak tüm katlarda veri hızı yavaş bandında seyretmektedir. Bu da sinyalin ağ geçidine ulaşırken sorun yaşadığını göstermektedir. Bu şekilde bir kurulum yapıldığında sensör aracılığı ile iletilen verinin kanalı sürekli işgal edeceği öngörülmektedir.

4.2. NB-IoT Testi

NB-IoT testleri Şekil 4'te görülen A4. Bloкта gerçekleştirilmiştir. Testler 0, 1, 2, 3, 6, 9 ve 12. katlarda bina girişleri referans alınarak sol ve sağ cephe olarak iki farklı noktada yapılmıştır. Su sayaçlarının bulunduğu alan olan kalın metal kapak arkasındaki sayaç şaftları içine bırakılan NB-IoT özellikli su sayacı bir el ile tetiklenecek şekilde yayın yaptırılmıştır. Şekil 6'da görülebileceği üzere alana yakın bulunan iki adet baz istasyonundan biri bölgeye yaklaşık 380 metre kuşbakışı mesafede bulunurken diğeri yaklaşık 130 metre uzaklıktadır. Şekil 9'da testlerin çıktısı olan RSSI değerleri yer almaktadır.



Şekil 9. NB-IoT Testi RSSI Değerleri

Verilerin iletiildiği ağ sunucusundaki bulgular incelendiğinde gönderilen 16 paketin de ağ geçidine ulaştığı sonucuna varılabilir. Bu da herhangi bir paket kaybı yaşanmadığını göstermektedir. Ancak uç düğüm aracılığı ile iletilen verilerin ağ geçidine ulaşması noktasında zaman gecikmesi sorunu yaşandığı gözlemlenmiştir.

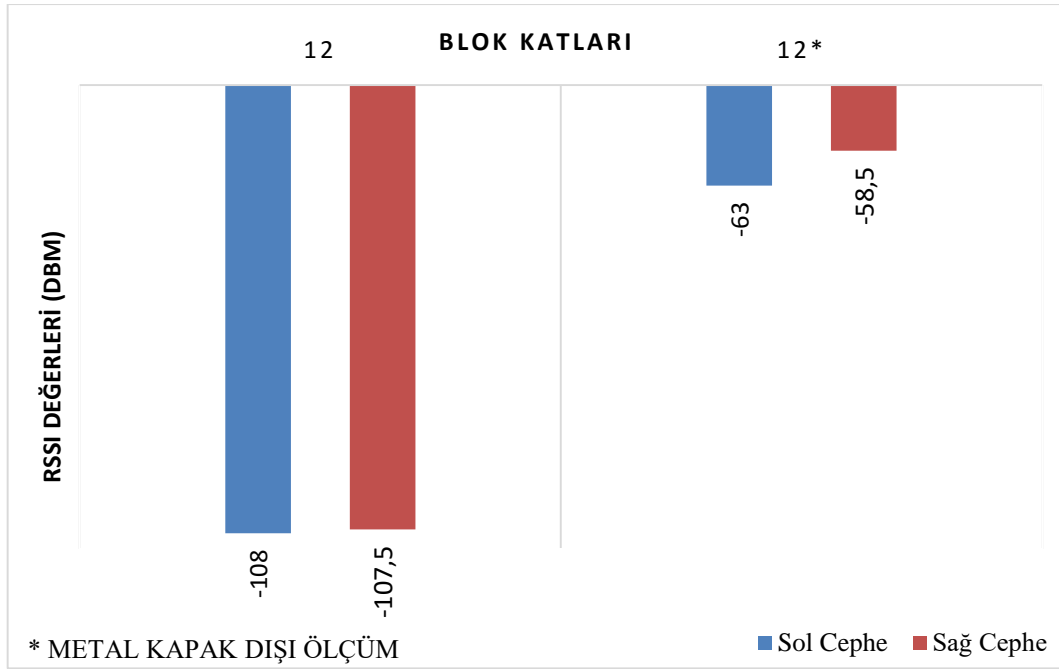
Metal kapak içi ölçümlerde elde edilen RSSI değerleri irdelenecek olursa eğer aynı cephedeki ölçümlerde katlar arası geçişlerde doğrusal bir bağlantı olmadığı görülebilir. Bunun yanı sıra iki cephe arasında da doğrusal bir ilişki kurulamamaktadır. Katlarda iletilen sinyallerin bölgeye yakın iki baz istasyonunu da altyapı olarak kullanmış olabileceği düşünülmekte ancak hangi katta hangi istasyonun kullanıldığı bilgisine ulaşamadığı için iki cephe arasında kurulacak olan ilişki anlamlı olmamaktadır.

Değerler hangi RSSI değerinin nasıl sonuç doğurduğuna dair bilgilerin yer aldığı Tablo 1 ile ilişkilendirildiğinde tüm noktalardaki sinyalin kalitesinin ideal aralıkta bulunmadığı sonucuna varılmaktadır.

Tablo 1. NB-IoT RSSI Referans Değerleri (Poddar ve ark., 2020)

Referans Değer	Durum
> -65 dBm	Çok İyi
-65 ile -75 dBm	İyi
-75 ile -85 dBm	Orta
< -85 dBm	Kötü

Metal kapağın sinyalin kalitesini nasıl etkilediğini görmek adına 12. katın sağ ve sol cephesinde metal kapağın dışında da ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlere Şekil 10 aracılığı ile ulaşılabilir.



Şekil 10. Metal Kapağın RSSI Değerlerine Etkisi

Şekil 10'da yer alan ölçüm sonuçları irdelenecek olursa eğer metal kapağın sinyalin kalitesine etkisi görülebilir. 12. katta metal kapağın her iki cephede de ortalama 47 dBm kayıp yaşattığı gözlemlenmektedir. İlgili katta yapılan ölçümler Tablo 1'e göre değerlendirilecek olursa eğer sayaç, tesisat şaftı içerisindeyken her iki cephede de sinyalin kalitesi kötü olarak değerlendirilmekte iken aynı noktalarda şaft dışında yapılan gözlemlerde sinyalin kalitesinin mükemmel duruma geçtiği görülmektedir. Bu test metal kapağın ilgili katta sinyalin kalitesini ne denli etkilediğini gözler önüne sermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eyüpsultan ilçesi sınırları içerisinde yer alan dört bloklu bir sitenin iki bloğunda birer gün arayla LoRa ve NB-IoT haberleşme teknolojilerinin performans analizlerinin yapılabilmesi adına bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Testler iki binanın da sol ve sağ cephesi olmak üzere 0, 1, 2, 3, 6, 9 ve 12. katlarda ikişer defa tekrarlanmış olup NB-IoT için RSSI; LoRa için ise RSSI ve SF değerleri not alınmıştır. Her testte uç düğümlerden birer adet paket gönderilmiş olup toplamda LoRa için 14, NB-IoT için ise 16 paket gönderilmiştir. Testler gaz ve su sayaçlarını uzaktan okuyabilmek adına bir haberleşme performans değerlendirmesini içermektedir. Bina içerisinde gaz sayaçları herhangi bir kapak ile muhafaza edilmeden koridorlarda açık olarak bulunmakta; su sayaçları ise kalın metal bir kapak arkasında yer alan sayaç şaft tüneli içerisinde yer almaktadır. Gaz sayaçları için LoRa, su sayaçları için ise NB-IoT performans değerlendirmesi yapıldığından LoRa testinde kullanılan manyetik alan okuyuculu LoRa sensörü koridorlarda açık bulunan gaz sayaçlarının üzerinde; NB-IoT testinde ise sayısal su sayacı sayaç şaft tüneli içerisinde metal kapak arkasına konularak testler gerçekleştirilmiştir.

LoRaWAN ağ geçidinin konumlandırıldığı binanın girişi ile LoRa testlerinin yapıldığı bina girişi arasında yaklaşık olarak 45 metre mesafe bulunmaktadır. NB-IoT testlerinde kullanılan sayacın içerisinde yerel bir ağ operatörüne ait SIM Kart yer almaktadır. İlgili operatöre ait iki adet baz istasyonundan biri bölgeye yaklaşık 380 metre kuşbakışı mesafede diğeri ise yaklaşık 130 metre kuşbakışı mesafede bulunmaktadır.

Verilerin iletiildiği ağ sunucularındaki bulgular incelendiğinde her iki teknoloji özelinde toplamda gönderilen 30 paketin de ağ geçidine başarılı bir şekilde ulaştığı sonucuna varılabilir. Bu da herhangi bir paket kaybı yaşanmadığını göstermektedir. Ancak 30 paketin bu parametreyi değerlendirmede yeterli olmadığı ve daha çok paket üzerinde gözlemler yapılmasının bu oranı değiştireceği öngörülmektedir. Daha iyi bir gözlem için farklı baz istasyonu kullanım yoğunluklarında ve farklı çevre koşullarında gözlemler yapılması ve iletilen paket sayısının artırılması gerektiği düşünülmektedir.

LoRa için ağ geçidi ve uç düğüm arasında; NB-IoT için ise baz istasyonu ile uç düğüm arasında sinyal iletimi noktasında zaman gecikmesi yaşandığı gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmanın da temelini oluşturan akıllı sayaçlar gibi uygulamaların titreşime ve gecikmeye duyarlı olduğu düşünüldüğünde bu parametrenin ilgili teknolojileri değerlendirmede birincil öncelik taşımadığı belirtilmelidir.

Bölüm 4'te detaylı olarak yer verilen RSSI değerinin her iki teknoloji özelinde de belirli noktalarda ideal aralıkta bulunmayışının birçok gerekçesi bulunmaktadır;

Bunların başında testin gerçekleştirildiği binanın betonarme yapıda oluşu gelmektedir. LoRa teknolojisinde kullanılan sensörün ağ geçidine yaklaşırken sinyalin gücündeki iyileşme betonarme yapı binalarda sinyalin katlar arası geçişlerde engellendiğini göstermektedir. NB-IoT teknolojisinde ise sayısal su sayacının hangi katta hangi baz istasyonu ile iletişim kurduğu bilgisine ulaşılamadığı için sinyalin katlar arası geçişlerdeki bağlantısı ve uç düğüm ile baz istasyonu arasındaki mesafenin sinyalin gücüne etkisi arasında mutlak bir bağlantı kurulamamaktadır. Ancak İstanbul genelindeki binaların genel olarak beton malzeme ile oluşturulduğu düşünülürse eğer bu parametrenin her iki teknoloji için de bazı sorunlar doğuracağı düşünülmektedir.

İkinci olarak ise LoRa ölçümlerinin koridorlarda bulunan açık alanlarda yapıldığı düşünülürse yalnızca NB-IoT ölçümleri için geçerli olan metal kapak engeli gelmektedir. NB-IoT testlerinde sinyalin gücünü ortalama 47 dBm düşüren metal kapağın İstanbul genelindeki görece yeni olan birçok binada su sayaçlarını koruduğu bilinmektedir. Bu doğrultuda ilgili gösterge İstanbul genelinde yer alan birçok binanın örneğini oluşturmaktadır. Bu kapsamda ilgili parametrenin NB-IoT teknolojisine etkisinin göz ardı edilemeyeceği belirtilmelidir.

Üçüncü öneme sahip etken ise LoRa ve NB-IoT testlerinde kullanılan uç düğümlerin ve LoRaWAN ağ geçidinin kurulumlarının eksik olmasıdır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen testlerde herhangi bir kurulum yapılmamıştır. Bu durumda testler esnasında kullanılan her cihaz için kurulum şemalarının tamamlanmamış olmasının da sinyal kalitesini etkilediği düşünülmektedir.

Diğer etken ise LoRa testleri sırasında kullanılan ağ geçidinin konumlandırıldığı dış ortam için değil de genellikle iç ortam kapsayıcılığında kullanılmak üzere tasarlanmış olması gösterilebilir. Picocell olarak ifade edilen bu ağ geçitleri genelde ofisler, alışveriş merkezleri gibi alanlarda kullanılmak için tasarlanmış olup dış mekân kullanımları için tercih edilme oranları yüksek değildir.

Son olarak ise NB-IoT teknolojisi özelinde Koronavirüs salgını kapsamında uzaktan eğitim ve çalışmanın yaygın olduğu bir dönemde ve mesai saatleri içerisinde gerçekleştirilen testlerde baz istasyonunu kullanım oranının görece daha fazla olması değerlendirilmektedir. Ancak gerçek bir sayaç haberleşme uygulamasında veri gönderim zamanlarının baz istasyonlarını kullanım oranlarının az olacağı zaman dilimlerinde planlanacağı düşünülürse eğer bu parametrenin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılacağı öngörülmektedir.

LoRa'nın yayılma faktörü değerlendirilecek olursa eğer testin yaklaşık %65'lik kısmında çok yavaş veri hızı ile sinyalin kanalı sürekli olarak işgal ettiği, kalan %35'lik kısmında ise uç düğüm ile ağ geçidi arasındaki mesafenin ve dolayısıyla aradaki engel sayısının oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Antenin görüş açısında meydana gelen değişimler, betonarme yapı binada sinyalin katlar arasındaki geçişlerden etkilenmesi, yansıma ve ağ geçidi ile uç düğüm arasındaki mesafenin bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak hangi teknolojinin seçileceği noktasında bir seçim yapılabilmesinin farklı alıcı ve vericilerin, farklı çevre koşullarının, çok sayıda uç düğüm ile gözlemler yapılmasının akabinde verilebilecek bir karar olduğu belirtilmelidir. Bu çalışma kapsamında yürütülmüş olan faaliyetler hangi teknolojinin daha uygun olduğuna dair kesin bir çıktı oluşturamamaktadır. Ancak farklı alıcı/vericiler ve uç düğüm sayısındaki artış şartının sağlanması durumunda gerçekleştirilecek olan değerlendirmenin yalnızca ilgili bölge için bir performans analizi içereceğinin de belirtilmesi gerekmektedir. Çünkü İstanbul coğrafi yapısı ve mimarisi düşünüldüğünde sinyal iletimi söz konusu olduğunda birçok farklı bölgeye ayrılabilir bir şehir olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda her bölgenin ilgili haberleşme teknolojileri özelinde ayrıca değerlendirilmesi daha kapsamlı bir çıktı oluşturabilecektir. Ayrıca İstanbul için birden çok teknolojiyi içeren hibrit bir çözümün şehrin genelini kapsanmasında daha iyi bir sonuç doğuracağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'de kullanım oranı az olan NB-IoT ve LoRa haberleşme teknolojilerinin İstanbul özelinde uygulanması incelenmiştir. NB-IoT ve LoRa haberleşme teknolojilerinin gerçek test ortamında uygulanması sonucunda bulunan sayısal değerlerinin verilmesi, sistemin kullanıldığı yerin (yükseklik, betonarme bina, metal kapaklı bir ortam, gsm anten konumuna mesafe) sistem kalitesine etkisinin sayısal değerlerle belirtilmesi, bu iki yöntemin ticari uygulamalarda kullanımına bir bakış açısı katmıştır. Ayrıca test ortamlarının birebir aynı olmasa da iki farklı haberleşme teknolojisinin kıyaslanabilmesi için sayısal bir veri ortaya koyulmuştur. Bu sayede teknoloji seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiğine dair somut değerlendirmeler yapılmıştır.

Daha iyi bir sonuç için gerekli tüm kurulumların tamamlanmasının ardından bir süre gözlem yapılarak kaydedilen değerler üzerinde paket kayıp oranlarının hesaplanması ve bu sonucun da referans alınarak ilgili teknolojilerin performans analizinin yapılması gerektiği ifade edilmelidir. İlgili testlerin devamında bu çalışma farklı radyo modemler ve çevre koşulları ile gerçekleştirilerek her iki teknolojinin de İstanbul özelinde örneklem oluşturacak bu alanda ne gibi sonuçlar doğuracağı gözlemlenecektir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Sümeyye YASİNTİMUR fikir, araştırma, veri toplama, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır. Vedat TAVAS fikir, eleştiri ve makalenin yazımı konusunda katkıda bulunmuştur.

Teşekkür

Yazarlar uygulama aşamasında kullanılan test ortamının sağlanmasında katkılarından dolayı İBB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi), İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) ve İGDAŞ (İstanbul Gaz Dağıtım Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi)'a 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

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J. ve Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*. 55(9), 34–40.
- Chen, M., Miao, Y., Hao, Y. ve Hwang, K. (2017, Eylül). Narrow band internet of things. *IEEE Access*. 5, 20557–20577.
- Kabalci, Y. ve Ali, M. (2019, Haziran, 12-15). *Emerging LPWAN technologies for smart environments: An Outlook*. 2019 1st Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM). Türkiye. 24-29.
- Lalle, Y., Fourati, L. C., Fourati, M. ve Barraca, J. P. (2019, Aralık, 18-20). *A comparative study of LoRaWAN, SigFox, and NB-IoT for smart water grid*. 2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS). Fransa. 1-6.
- Li, L., Ren, J. ve Zhu, Q. (2017, Şubat, 21-24). *On the application of LoRa LPWAN technology in Sailing Monitoring System*. 2017 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS). Amerika. 77–80.
- LoRa Alliance (2015). A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™. *Technical Marketing Workgroup 1.0*, 20.
- LoRa Alliance (2021). LoRaWAN® coverage. <https://lora-alliance.org/lorawan-coverage/> adresinden 26 Şubat 2021 tarihinde alınmıştır.
- Lueth, K.L. (2018). State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating. IOT ANALYTICS. <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/> adresinden 23 Şubat 2021 tarihinde alınmıştır.
- Malik, H., Khan, S. Z., Sarmiento, J. L. R., Kuusik, A., Alam, M. M., Le Moullec, Y. ve Parand, S. (2019, Haziran, 24-28). *NB-IoT network field trial: Indoor, outdoor and underground coverage campaign*. 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). Fas. 537–542.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F. ve Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*. 5(1), 1–7.
- Paredes, M., Bertoldo, S., Carosso, L., Lucianaz, C., Marchetta, E., Allegretti, M. ve Savi, P. (2019). Propagation measurements for a LoRa network in an urban environment, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. 33(15), 2022–2036.
- Poddar, N., Khan, S. Z., Mass, J. ve Srirama, S.N. (2020, Haziran, 15-19). *Coverage analysis of NB-IoT and sigfox: Two Estonian University campuses as a case study*, International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). Kıbrıs. 1491–1497.
- Semtech (2015). LoRa™ Modulation Basics, Rapor No: AN1200.22, 26s.
- Sultania, A. K., Zand, P., Blondia, C. ve Famaey, J. (2018, Aralık, 9-13). *Energy modeling and evaluation of NB-IoT with PSM and eDRX*. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). Birleşik Arap Emirlikleri.

- Vatcharatiansakul, N., Tuwanut, P. ve Pornavalai, C. (2017, Temmuz, 12-14). *Experimental performance evaluation of LoRaWAN: A case study in Bangkok*. 14th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE). Tayland.
- Wang, Y.-P. E., Lin, X., Adhikary, A., Grovlen, A., Sui, Y., Blankenship, Y., Bergman, J. ve Razaghi, H. S. (2017). A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things (NB-IoT)", *IEEE Communications Magazine*. 55 (3), 117-123.