

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

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

Yıl:21 **Sayı:41** **2022-Bahar**
Year:21 **Vol:41** **2022-Spring**

Istanbul Commerce University
Journal of Science

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



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

DERGİSİ

Yıl: 21

Sayı: 41

Bahar 2022

Year: 21

Volume: 41

Spring 2022

Istanbul Commerce University
Journal of Science



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

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



| | |
|---|--|
| İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of İstanbul Commerce University</i> | Prof. Dr. Yücel OĞURLU <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi Rektörü İstanbul Commerce University Rector</i> |
| Editör <i>Editor</i> | 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> |
| Alan Editörleri <i>Associate Editors</i> | Prof. Dr. Doğan KAYA <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Doç Dr. Berk AYVAZ <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> Dr. Öğr. Üyesi Muhammet CEYLAN <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> |
| Dil Editörü <i>Language Editor</i> | Dr. Öğr. Üyesi Elif NURAY YILDIRIM <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> |
| Sorumlu Yazı İşleri Müdürü <i>Publishing Manager</i> | Yasin DEMİRBAŞ <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i> |
| Yönetim Yeri <i>Head Office</i> | İstanbul Ticaret Üniversitesi / İstanbul Commerce University |
| Yazışma Adresi <i>Corresponding Address</i> | Küçükyalı E-5 Kavşağı, İnönü Cad. No: 4 Küçükyalı-34840 İstanbul-TÜRKİYE Tel: 0 216 444 0 413 (3141) e-posta: fendergi@ticaret.edu.tr |
| İnternet Adresi <i>Web Address</i> | https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbid |
| Yayın Türü <i>Publication Type</i> | Yerel Süreli / <i>Periodical</i> Yılda iki sayı yayımlanır: Bahar (Haziran) ve Güz (Aralık) <i>Two issues per year: Spring (June) and Fall (December)</i> |
| Yayın Dili <i>Publication Language</i> | Türkçe ve İngilizce <i>Turkish and English</i> |
| Online Yayınlanmaktadır <i>Published Online</i> | ISSN : 1305-7820 E-ISSN : 2587-165X |
| Derginin Tarandığı Kaynaklar | |

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

41. Sayı HAKEM LİSTESİ / REVIEWER LIST

| | |
|------------------------------------|--|
| Prof. Dr. Abdül Halim ZAİM | İstanbul Ticaret Üniversitesi |
| Prof. Dr. Adnan ÇALIK | Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi |
| Prof. Dr. Halit ÖZEN | Yıldız Teknik Üniversitesi |
| Prof. Dr. Hasan GENÇ | Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi |
| Prof. Dr. Mustafa YANALAK | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Prof. Dr. Oğuz BORAT | İstanbul Ticaret Üniversitesi |
| Prof. Dr. Sait Erdal DİNÇER | Marmara Üniversitesi |
| Prof. Dr. Selay GİRAY YAKUT | Marmara Üniversitesi |
| Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU | İstanbul Teknik Üniversitesi |
| Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN | İstanbul Ticaret Üniversitesi |
| Prof. Dr. Vail KARAKALE | İstanbul Medeniyet Üniversitesi |
| Doç. Dr. Fatih Mehmet YILMAZ | Aydın Adnan Menderes Üniversitesi |
| Doç. Dr. İbrahim DEMİR | Yıldız Teknik Üniversitesi |
| Doç. Dr. İsmail TOPCU | Alanya Alladdin Keykubat Üniversitesi |
| Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR | Marmara Üniversitesi |
| Doç. Dr. Muhammed Ali AYDIN | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |
| Doç. Dr. Serpil KILIÇ DEPREN | Yıldız Teknik Üniversitesi |
| Doç. Dr. Yasin ÖZÇELEP | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |
| Dr. Öğr. Üyesi Adem UĞURLU | Kırklareli Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza EKTİ | Balıkesir Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Esin AVCI | Giresun Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Fatih Yavuz ILGIN | Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Gül Aslı AKSU | Kastamonu Üniversitesi |
| Dr. Öğr. Üyesi Imadeldın ELMUTASIM | University Malaysia Pahang |
| Dr. Öğr. Üyesi Makbule Tuba BAŞKAN | İstanbul Ticaret Üniversitesi |

EDİTÖRDEN

Değerli İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okurları,

Dergimizin 21. yılına girmişken, 2022 Bahar döneminde yayınlanan 41. sayıyı değerli okurlara ulaştırmaktan onur duymaktayız.

Dergimizin bu sayısında Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Harita Mühendisliği, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstatistik, Elektronik-Haberleşme Mühendisliği, İç Mimarlık, Mekatronik Mühendisliği, Makine Mühendisliği ve Bilgisayar Mühendisliği alanlarından onbir makaleyi siz okurlarımızın istifadesine sunmaktan mutluyuz.

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

Sayının fen bilimleri alanında değindiği konulara 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 21th year of our journal, we are honored to share with you our esteemed readers the 41th issue of the Spring 2022 edition.

In this issue, we are pleased to present eleven articles from the fields of Electrical-Electronics Engineering, Chemical Engineering, Geomatics Engineering, Urban Systems and Transport Management, Statistics, Electronics-Communications Engineering, Interior Architecture, Mechatronic Engineering, Mechanical Engineering and Computer 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.

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 % 20 çalışmalar alınır. Bu durumda değilse yazar/lar'dan çalışmanın tekrar revize edilerek yüklenmesi istenir. Benzerlik oranı % 20'den yüksekse, başvuru reddedilir.

Dergimize gönderilen makaleler için değerlendirme aşamaları aşağıdaki gibidir;

1. Makale Ön İncelemeye alınır;

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

2. Makale Değerlendirme aşamasına geçer.

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

3. Mizanpaj aşamasında, düzeltmeler gerekirse yazardan istenir.

4. Süreç tamamlanır ve yazara bilgilendirme mesajı gönderilir.

Makale kabul süreci ortalama 3 ay sürmektedir.

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

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

PUBLICATION POLICY

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

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

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

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

The article review process is almost 3 months.

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

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



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical-Electronics Engineering

ANALYSIS OF LARGE-SCALE PATH LOSS MODEL AT 33 GHZ IN INDOOR LABORATORY ENVIRONMENT 1

BİNA-İÇİ LABORATUVAR ORTAMINDA 33 GHZ'DE BÜYÜK ÖLÇEKLİ YOL KAYBI ANALİZİ
Cihat ŞEKER, Muhammet Tahir GÜNEŞER

Kimya Mühendisliği / Chemical Engineering

GIDA VE YEM İÇİN HIZLI ALARM SİSTEMİ'NDE BULUNAN GIDA İLE TEMAS EDEN MADDE BİLDİRİMLERİ 10

FOOD CONTACT MATERIAL NOTIFICATIONS IN RAPID ALERT SYSTEM FOR FOOD AND FEED
Mehmet Ali CANIMOĞLU, Salih Berkcan ADAK, Ümit ÜNLÜ,
Ezgi GENÇ, Aslı YORULMAZ

Harita Mühendisliği / Geomatics Engineering

KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN SOSYAL VE TEKNİK GEREKÇELERİ, GAZİOSMANPAŞA İLÇESİ SARIGÖL-YENİDOĞAN KENTSEL DÖNÜŞÜM ÖRNEĞİ 19

SOCIAL AND TECHNICAL REASONS FOR URBAN TRANSFORMATION, THE EXAMPLE OF URBAN TRANSFORMATION IN SARIGÖL-YENİDOĞAN, GAZİOSMANPAŞA
Hümeyra USTA KIRALI, Nihat Enver ÜLGER

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi / Urban Systems and Transport Management

İSTANBUL METROBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNDE KULLANILAN OTOBÜS TİPİNİN İSTASYONLARDA BEKLEME SÜRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ 30

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BUS TYPE USED IN ISTANBUL BRT PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM ON DWELL TIMES AT STATIONS
Abdulhamit ÇETİN, Mustafa ILICALI

İstatistik / Statistics

POISSON REGRESYON VE EVLİLİK İSTATİSTİKLERİNE UYGULANMASI 55

POISSON REGRESSION AND APPLICATION TO MARRIAGE STATISTICS

Ozan ALTUNBAŞ, Özlem DENİZ BAŞAR

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE'DE HES (HİDROELEKTRİK SANTRAL) SEÇİMİ 68

HEPP SELECTION IN TURKEY WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Semra ALBAYRAK, Münevver TURANLI

Elektronik-Haberleşme Mühendisliği / Electronics-Communications Engineering

MASTER SLAVE PHASE SYNCHRONIZATION METHOD WITH XOR AND PHASE/FREQUENCY DETECTOR PLL 80

XOR VE FAZ/FREKANS DEDEKTÖR PLL İLE MASTER-SLAVE

FAZ SENKRONİZASYON METODU

Zeynep KAPLANOĞLU ÇANTI, Serhan YARKAN

İç Mimarlık / Interior Architecture

BİYOFİLİK TASARIM KRİTERLERİNİN MEKANLAR ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ 95

AN EVALUATION OF BIOPHILIC DESIGN CRITERIAS IN PLACES

Hazel İrem İRFANOĞLU, Leyla SURI

Mekatronik Mühendisliği / Mechatronic Engineering

STUDYING THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIORS OF ANODIZED METALLIC IMPLANTS FOR IMPROVED CORROSION RESISTANCE 117

GELİŞMİŞ KOROZYON DİRENCİ İÇİN ELOKSALLI METALİK İMPLANTLARIN

ELEKTROKİMYASAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Md. Shafinur MURAD, Aybala USTA, Ramazan ASMATULU, Muhammet CEYLAN

Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLAR TRENDİ VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ 136

HYBRID, BATTERY ELECTRIC AND FUEL-CELL VEHICLES TREND

AND ASSESSMENT OF SAFETY OBLIGATIONS

Abdullah DEMİR

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

EVALUATING THE EFFECTS OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM AND SYMPATHETIC ACTIVITY ON EMOTIONAL STATES 156

OTONOM SİNİR SİSTEMİ VE SEMPATİK AKTİVİTENİN DUYGU DURUMU

ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatma PATLAR AKBULUT



ANALYSIS OF LARGE-SCALE PATH LOSS MODEL AT 33 GHZ IN INDOOR LABORATORY ENVIRONMENT

BİNA-İÇİ LABORATUVAR ORTAMINDA 33 GHZ'DE BÜYÜK ÖLÇEKLİ YOL KAYBI ANALİZİ

Cihat ŞEKER¹

Muhammet Tahir GÜNEŞER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.954475>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
cihatseker@karabuk.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
18.08.2021

Accepted / Kabul Tarihi
12.10.2021

Abstract

In this study, two important large-scale path loss models, which are the Close-In (CI) model with free space reference distance and Float Intercept (FI) model, were compared in indoor laboratory scenario for fifth-generation (5G) radio systems. Comparisons are conducted using a ray-tracing-based simulation environment at ten different measurement points, at 33 GHz center frequency, and distances between 1,5 to 9 m. According to the results obtained, the one-parameter CI model is simpler and more consistent than the two-parameter FI model. CI model offers better simulation accuracy, greater simplicity, and better iterability between experiments, besides better adaptation to both line-of-sight and non-line-of-sight conditions. In addition, the CI model exhibit high stability at wide frequency ranges.

Keywords: CI model, FI model, indoor laboratory environment, large-scale path loss model, 33 GHz.

Öz

Bu çalışmada, beşinci nesil (5G) radyo sistemleri için bina-ıç i laboratuvar ortamında iki önemli geniş ölçekli yol kaybı modeli karşılaştırılmıştır. Bu modeller, yakın mesafe (YM) referans modeli ve kayan kesme (KK) modelidir. Ölçümler ışın izleme temelli bir simülasyon programı ile 10 farklı noktada, 33 GHz merkez frekansında yapılmıştır. Verici ile alıcı arasındaki mesafe 1,5 ila 9 m arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, bir parametrel i YM modeli, iki parametrel i KK modelinden daha basit ve daha tutarlıdır. YM modeli, verici ile alıcı arasında görüş hattı olan ve olmayan koşullara daha iyi adaptasyon sağlayabilmektedir. Ayrıca ölçümler sırasında daha iyi simülasyon doğruluğu, daha fazla basitlik ve tekrarlanabilirlik sağlamaktadır. Bunların yanı sıra YM modeli geniş frekans aralıklarında yüksek kararlılık sergileyebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina-ıç i laboratuvar ortamı, geniş ölçekli yol kaybı modeli, kayan kesme (KK) modeli, yakın mesafe (YM) modeli, 33 GHz.

¹Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Karabuk, Türkiye. cihatseker@karabuk.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9680-4622.

²Karabuk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Karabuk, Türkiye. mtguneser@karabuk.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3502-2034.

1. INTRODUCTION

Today, the number of personal communication devices such as smartphones and tablets are increasing rapidly. However, users' demands for data access anytime, anywhere are also growing. This situation has forced service providers to provide higher data rates and quality. New spectrums and innovative technologies are needed to meet the demand for data access. This promotes the development of innovative technology such as 5G wireless communication and a new spectrum such as the millimeter waves (mmWaves) (Agubor et al., 2019) (Haneda et al., 2016). 5G communication systems, which have just completed their development, are expected to offer revolutionary technologies while using new spectrums and unique architectural concepts (Boccardi et al., 2014) (Dahlman et al., 2021). Thus engineers who want to assist in the design of 5G communication systems need to develop channel models and new standards (Güneşer & Seker, 2019). Channel characterization in the mmWave band has been performed by researchers before. Violette et al. conducted measurements in downtown Denver, wideband non-line-of-sight (NLoS) channels at 9,6, 28,8 and 57,6 GHz (Bechta et al., 2019) (Violette et al., 1988). The measurement data presented in these studies are insufficient. Channel modeling and propagation measurements were studied in the 60 GHz band outdoors in various city streets (Dupleich et al., 2019) (Løvnes et al., 1994). Stochastic channel modeling was performed site-specific (Dupleich et al., 2019). Therefore, the study was limited to Germany and Japan only (Dupleich et al., 2019). Samsung has actively worked on mmWave band measurement and channel modeling for 5G and beyond 5G mobile communication technologies (Hong et al., 2017). In this study, multibeam antenna technologies are studied rather than channel modeling for 5G mobile communication systems (Hong et al., 2017). Channel measurements were carried out in the E-band (81-86 GHz) in Helsinki, Finland. Aalto University performed measurements in the street canyon scenario for point-to-point communication (Kyrö et al., 2012). In this paper, geometry-based single-bounce channel model is developed for point-to-point communications in E-band (Kyrö et al., 2012). The single-bounce technique is insufficient for channel modelling. In our study, the shooting and bouncing rays technique is used. Extensive propagation measurements were conducted in the 28 GHz, 38 GHz and 73 GHz bands in outdoor (i.e., urban microcell (UMi), urban macrocell (UMa)) and indoor scenarios (Rappaport et al., 2015) (Rappaport et al., 2013). In these studies, temporal and spatial statistics were obtained by ray-tracing technique. The omnidirectional path loss models in dense urban environments in the 28 GHz and 73 GHz bands are examined (Maccartney et al., 2014). Measurements are carried out at various frequencies of the mmWave band in various parts of the world. There are many measurement campaigns that have not yet been studied or published, for example the measurement data in this paper have not yet been published.

In this paper, measurements were carried out in a ray-trace based simulation environment at the Engineering Faculty, Karabuk University. The indoor environment is preferred because the wavelength is small, and the attenuation is high in the mmWave band. The center frequency is 33 GHz, the bandwidth is 1 GHz. Two of the most used path loss models in the literature, the Close-In (CI) free space reference distance model, and the Floating Intercept (FI) model are compared (Al-samman et al., 2020) (Hemadeh et al., 2018) (Sun et al., 2018).

2. RAY-TRACE BASED MEASUREMENT

Wireless Insite software was used as a ray tracing-based simulation environment. Wireless Insite software is produced by REMCOM Inc. With Wireless Insite, complex indoor environments, urban environments, and rural environments can be simulated. Besides, it can predict the characteristics of the communication channel and electromagnetic propagation efficiently and accurately (Remcom, 2020).

2.1. Properties of Simulation Environment

Simulations were conducted with Wireless Insite 3.3.0.3 version. The waveform was selected as a sinusoid. The center frequency is 33 GHz, bandwidth is 1 GHz, and phase angle is 0° in the simulation environment. On the transmitter side, an omnidirectional antenna was used. The transmitter antenna has a gain of 20 dBi, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) value 1, E-plane half-power beamwidth of 45° , and input power of 25 dBm. On the receiver side, a broadband directional pyramidal horn antenna was used. The receiver antenna has a gain of 18,5 dBi, VSWR value 1, and 3 dB beamwidth of 10° in E-plane and 11° in H-plane. Both the transmitting antenna and the receiving antenna are vertically polarized. In the simulation environment, Shooting-and-Bouncing-Rays (SBR) method was chosen as the ray-tracing method and the Full 3-D model was selected as the propagation model. The parameters used in the simulation environment are listed in Table I.

Table 1. Properties of The System

| Parameter | Configuration | Unit |
|---|--|------|
| Center frequency | 33 | GHz |
| Bandwidth | 1 | GHz |
| Transmitted signal | Continuous-wave | - |
| Transmitter and receiver antenna | Omnidirectional and directional pyramidal horn antenna | - |
| The output power of the transmitter antenna | 25 | dBm |
| Transmitter antenna height | 2,3 | m |
| Receiver antenna height | 1,6 | m |

2.2. Simulation Scenario

We performed simulation campaigns in the indoor laboratory on the 1st floor of the Engineering Faculty building, University of Karabuk. The simulation environment was a well-known indoor office, floor made of drywall, ceiling, and walls made of concrete, glass windows, wooden furniture, and doors. The dielectric and roughness properties of the materials used in the simulation environment for modeling the laboratory are listed in Table 2. The transmitter antenna was mounted 2,3 meters above the ground as in characteristic indoor hotspots, and the receiver antenna was mounted 1,6 meters as in characteristic handsets. In the laboratory, the transmitter antenna was fixed, the receiving antenna was positioned in 10 different locations for simulations of both line of sight (LoS) and NLoS. The directional horn antenna on the receiver side was rotated in 10° steps over the azimuth plane. Both omnidirectional antenna and pyramidal horn antenna were vertically polarized in all simulation tests. The simulation structure prepared in the Wireless Insite environment is shown in Figure 1.

Table 2. Dielectric Parameters of Materials in The Simulation Environment

| Material | Dielectric constant | Conductivity | Roughness |
|----------|---------------------|--------------|-----------|
| Drywall | 2,8 | 0,001 | 0,2 |
| Concrete | 15 | 0,015 | 0,2 |
| Ceiling | 15 | 0,015 | 0 |
| Glass | 2,4 | 0,000 | 0 |
| Wood | 5 | 0,000 | 0,1 |

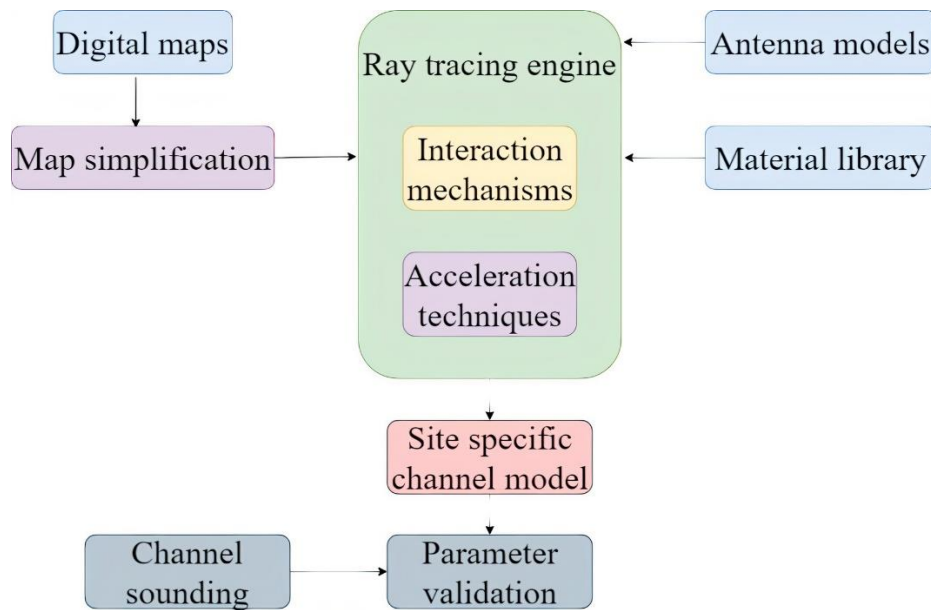


Figure 1. The Simulation Campaign System

In the case of LoS, the separation distance between the transmitter and the receiver ranges from 1,5 m to 9 m. Ray tracing-based measurements were carried out in 1,5 m steps. Similarly, in the case of NLoS, the separation distance between the transmitter and the receiver ranges from 9,02 m to 21,80 m and the measurements were conducted in 1,83 m steps. The indoor laboratory where the measurements were performed is 7,4 m long, 11,57 m wide and 3,3 m high. Figure 2 shows the laboratory environment where the ray-traced based study is performed. The plan of the laboratory, the transmitter position (omnidirectional antenna), and the receiver positions (red marks) are shown in Figure 3. In each of transmitter and receiver combinations, the receiver was rotated over the entire azimuth plane with 10° steps. For example, in the case of LoS, while the separation distance between the transmitter and receiver was 1,5 m, the receiver was rotated 10 degrees clockwise in the azimuth plane and all channel parameters were measured. It was then rotated 20 degrees. Thus 36 different angles of arrival were obtained. Elevation plane kept constant at 0° . The transmitter antenna kept constant at 0° in both azimuth and elevation planes.



Figure 2. Indoor Laboratory Environment

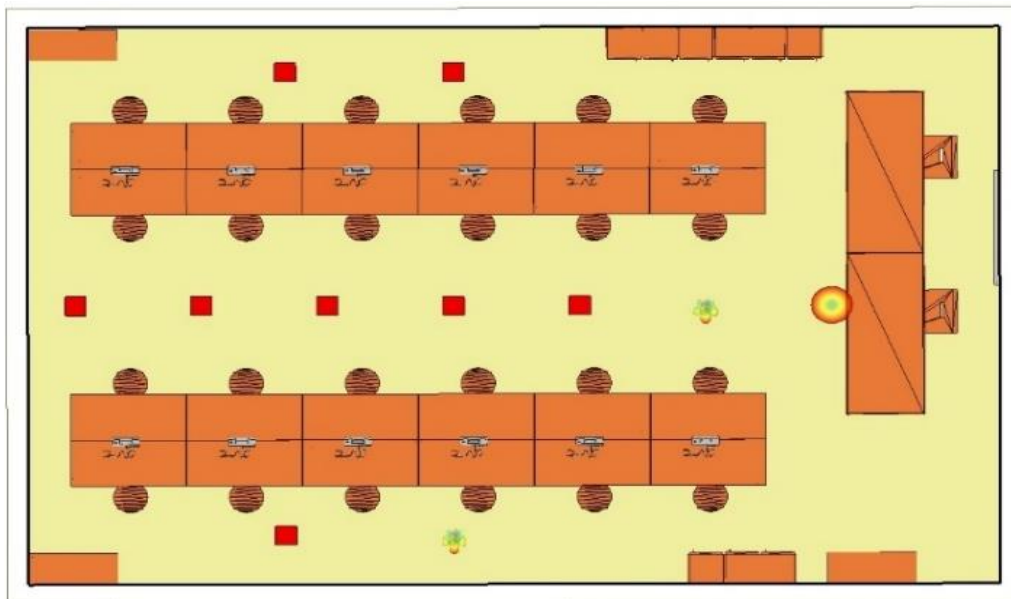


Figure 3. Top View of Laboratory Plan

3. LARGE-SCALE PATH LOSS MODEL ANALYSIS

Propagation models estimate the average signal power for an arbitrary separation distance between the transmitter and receiver. These models, also called large-scale propagation models, are also useful for estimating coverage area of a transmitter. Path loss models are mathematical calculations derived to predict the transmission paths and connected losses of the signal in a given environment based on variable parameters such as distance, obstacles in the transmission path and frequency band. Path loss models are used to estimate received signal power as a function of distance. The aim of this study is to compare the performance of two different large-

scale path loss models in a indoor laboratory environment. This paper focused on CI and FI path loss models (Faruk et al., 2021).

3.1. Close-in Reference Distance and Floating Intercept Path Loss Models

CI and FI path loss models can predict large-scale path loss at all frequencies in a specific scenario. The formula of the CI model (Rappaport et al., 2015) is given in (1):

$$PL^{CI}[\text{dB}] = FSPL[\text{dB}] + 10n \log_{10}(d) + X_{\sigma}^{CI} \quad (1)$$

where n represents the path loss exponent, d denotes the 3-dimensional distance between the receiver and the transmitter, X_{σ}^{CI} denotes a zero-mean Gaussian random variable with a standard deviation σ and $FSPL$ represents the free space path loss in dB where the distance between the receiver and the transmitter is 1 m.

$$FSPL[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c} \right) \quad (2)$$

where f represents the carrier frequency and c represents the speed of light. It is seen that the CI model uses only one parameter (path loss exponent) from the equations given above and the free space path loss value is proportional with the frequency as seen on Eq. 3 for the FI model (Svensson et al., 2007):

$$PL^{FI}[\text{dB}] = \alpha + 10\beta \log_{10}(d) + X_{\sigma}^{FI} \quad (3)$$

where β denotes the path loss exponent, α denotes the offset value optimized for path loss, d denotes the 3-dimensional distance between the receiver and the transmitter, X_{σ}^{FI} denotes a zero-mean Gaussian random variable with a standard deviation σ . The coefficients α and β in the FI model are generated from the measurement results.

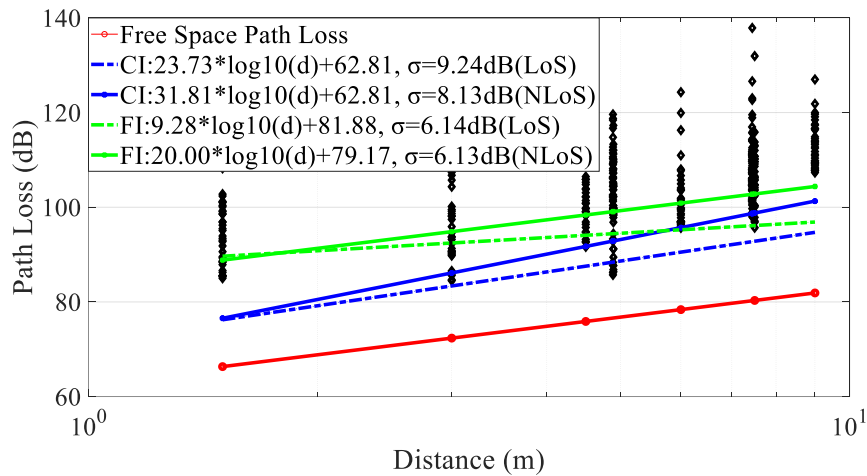


Figure 4. CI and FI Path Loss Models

The path loss models obtained using (1) and (3) are shown in Figure 4. Each column contains 36 black dots, which represent 36 path loss values acquired from 36 azimuth angles. The parameters of the two path loss models are summarized in Table 3. Compared CI model to the FI model, it was observed that the shadow fading value is higher and the path loss intercept value is smaller. The reason is that the FI model has two parameters and the parameters can be adjustable to converge to the measured value. Both the path loss exponent (n) parameter in the CI model α and β parameters in the FI model were obtained by applying the minimum mean square error method to the path loss data obtained from the measurements.

Table 3. Parameters of Path Loss Models

| | Parameter | LoS | NLoS |
|----|---------------------|------------|-------------|
| CI | Path loss exponent | 2,373 | 3,181 |
| | Path loss intercept | 62,81 | 62,81 |
| | σ | 9,24 | 8,13 |
| FI | Path loss exponent | 0,928 | 2,00 |
| | Path loss intercept | 81,88 | 79,17 |
| | σ | 6,14 | 6,13 |

4. CONCLUSION

In this work, we compared performance of FI and CI path loss models by using a software at 33 GHz mmWave frequency in the indoor laboratory environment. The software used is based on the ray tracing method. The CI model depends on the transmitter's power and standardizes all measurements around a free space reference distance of 1 m. Thus, it provides ease of calculation for varying distances using only one parameter (n). The FI model has two parameters (α and β) that are changing quite irregularly in different frequency ranges and different scenarios. Compared to the CI model, it was observed that the FI model reduced the standard deviation by a small amount.

Regarding the results, the CI model provides a simple and one-parameter physical basis, while the FI model offers less path loss at close distances to the transmitter and greater path loss at the distances away from the transmitter, providing two parameters without a physical basis.

Contribution of The Authors

The contributions of the authors to the article are equal. In this study, Muhammet Tahir Güneşer contributed to the provision of ideas, criticism and computer environment. Cihat Şeker contributed to research, data collection, analysis, interpretation, literature review and writing of the article.

Acknowledgment

The authors would like to thank Karabuk University for their contribution in providing the simulation environment used during the study.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

REFERENCES

- Agubor, C.K., Akwukwuegbu, I., Olubiwe, M., Nosiri, C.O., Ehinomen, A., Olukunle, A.A., Okozi, S.O., Ezema, L. & Okeke, B.C. (2019). A comprehensive review on the feasibility and challenges of millimeter wave in emerging 5G mobile communication. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 4(3), 138-144. <https://doi.org/10.25046/aj040318>.
- Al-samman, A.M., Azmi, M.H., Al-gumaei, Y.A., Al-hadhrami, T., Abd Rahman, T., Fazea, Y. & Al-mqdashi, A. (2020). Millimeter wave propagation measurements and characteristics for 5G system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/app10010335>.
- Al-Samman, A.M., Abd Rahman, T., Al-Hadhrami, T., Daho, A., Hindia, MHD.N., Azmi, M.H., Dimiyati, K. & Alazab, M. (2019). Comparative study of indoor propagation model below and above 6 GHz for 5G wireless networks. *Electronics (Switzerland)*, 8(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/electronics8010044>.
- Behta, K., Rybakowski, M. & Du, J. (2019, March 31 - April 5). *Efficiency of antenna array tapering in real propagation environment of millimeter wave system*. 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP, Krakow, Poland.
- Boccardi, F., Heath, R., Lozano, A., Marzetta, T.L. & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746>.
- Dahlman, E., Parkvall, S. & Sköld, J. (2021). What Is 5G? *In 5G NR*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822320-8.00001-5>.
- Dupleich, D., Müller, R., Landmann, M., Shinwasusin, E.A., Saito, K., Takada, J.I., Luo, J., Thomä, R. & Del Galdo, G. (2019). Multi-Band propagation and radio channel characterization in street canyon scenarios for 5G and beyond. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2948869>.
- Faruk, N., Abdulrasheed, I.Y., Surajudeen-Bakinde, N.T., Adetiba, E., Oloyede, A.A., Abdulkarim, A., Sowande, O., Ifijeh, A.H. & Atayero, A.A. (2021). Large-Scale radio propagation path loss measurements and predictions in the VHF and UHF bands. *Heliyon*. 7(6), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07298>.
- Güneşer, M. T. & Şeker, C. (2019). Compact microstrip antenna design for 5G communication in millimeter wave at 28 GHz. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12 (2), 679-686. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.477293>.
- Haneda, K., Zhang, J., Tan, L., Liu, G., Zheng, Y., Asplund, H., Jian Li, et al. (2016, May, 15-18). 5G 3GPP-like channel models for outdoor urban microcellular and macrocellular environments. *IEEE Vehicular Technology Conference*, Nanjing, China, 1-7. <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2016.7503971>.
- Hemadneh, I.A., Satyanarayana, K., El-Hajjar, M. & Hanzo, L. (2018). Millimeter-wave communications: Physical channel models, design considerations, antenna constructions, and link-budget. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 20(2) 870-913. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2783541>.

- Hong, W., Jiang, Z.H., Yu, C., Zhou, J., Chen, P., Yu, Z., Zhang, H., et al. (2017). Multibeam antenna technologies for 5G wireless communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65, 6231-6249. <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2712819>.
- Kyrö, M., Kolmonen, V.M. & Vainikainen, P. (2012). Experimental propagation channel characterization of Mm-wave radio links in urban scenarios. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 865-868. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2012.2210532>.
- Løvnes, G., Reis, J. J. & Raekken, R. H. (1994). Channel sounding measurements at 59 GHz in city streets. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*. <https://doi.org/10.1109/WNCMF.1994.529139>.
- Maccartney, G.R., Samimi, M.K. & Rappaport, T.S. (2014). Omnidirectional path loss models in New York City at 28 GHz and 73 GHz. In *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, 227-231. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2014.7136165>.
- Rappaport, T.S., Gutierrez, F., Ben-Dor, E., Murdock, J.N., Qiao, Y. & Tamir, J.I. (2013). Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(4), 1850-1859. <https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2235056>.
- Rappaport, T.S., MacCartney, G.R., Samimi, M.K. & Sun, S. (2015). Wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models for future wireless communication system design. *IEEE Transactions on Communications*. 63(9), 3029–3056. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2015.2434384>.
- Remcom. (2020). *Wireless InSite reference manual. State College, PA 16801*.
- Sun, S., Rappaport, T.S., Shafi, M., Tang, P., Zhang, J. & Smith, P.J. (2018). Propagation models and performance evaluation for 5G millimeter-wave bands. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(9), 8422-8439. <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2848208>.
- Svensson, T., Werner, M., Legouable, R., Frank, T. & Costa, E. (2007). "D1.1.2 WINNER II channel models: Part I channel models." *Projects. Celtic-Initiative.Org*.
- Violette, E.J., Espeland, R.H., Debolt, R.O. Schwering, F. (1988). Millimeter-wave propagation at street level in an urban environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26(3), 368-380. <https://doi.org/10.1109/36.3038>.
- Xing, Y., Rappaport, T.S. & Ghosh, A. (2021). Millimeter wave and sub-THz indoor radio propagation channel measurements, models, and comparisons in an office environment. *IEEE Communications Letters*, 25(10), 3151-3155. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2021.3088264>.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

GIDA VE YEM İÇİN HIZLI ALARM SİSTEMİ'NDE BULUNAN GIDA İLE TEMAS EDEN MADDE BİLDİRİMLERİ

FOOD CONTACT MATERIAL NOTIFICATIONS IN RAPID ALERT SYSTEM
FOR FOOD AND FEED

Mehmet Ali CANIMOĞLU¹, Salih Berkcan ADAK², Ümit ÜNLÜ³,
Ezgi GENÇ⁴, Aslı YORULMAZ⁵

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1014853>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
asliyorulmaz@adu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
26.10.2021

Kabul Tarihi / Accepted
16.03.2022

Öz

Bu çalışmada, Gıda ve Yem için Hızlı Alarm Sistemi (RASFF)'ne 2002-2020 yılları arasında rapor edilen gıda ile temas eden madde bildirimlerini incelenmiş ve veriler Microsoft Excel programı yardımıyla grafikler halinde yorumlanmıştır. Hızlı Alarm Sistemi'ne 2002-2020 yılları arasında 2500 gıda ile temas eden madde bildirimleri raporlanmış olup, en fazla bildirim sayısı 2011 yılındadır. Ülke bazında incelendiğinde; İtalya'nın 788, Almanya'nın 313 ve Polonya'nın 185 bildirimde bulunduğu görülmüştür. İncelenen bildirimlerin %42,52'si sınır reddi, %22,64'ü alarm, %12,8'i dikkat gerektiren bilgi, %11,36'sı bilgi ve %10,68'i takip gerektiren bilgi bildirimidir. Risk türlerinin %18,76'sı ciddi, %20,8'i ciddi olmayan ve %60,44'ü kararsız kalmış risk derecesine sahiptir. Bildirime konu olan tehlikeler krom (%13,18), formaldehit (%13,12), birincil aromatik aminler (%11,83) ve nikel (%8,75) oluşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gıda Güvenliği, gıda ile temas eden maddeler, hızlı alarm sistemi, RASFF.

Abstract

In this study, food contact material notifications reported to the Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) between 2002 and 2020 were examined and the data were interpreted in graphics with the help of Microsoft Excel program. Between 2002 and 2020, 2500 reports of food contact materials were reported to the Rapid Alert System, with the highest number of notifications in 2011. When analyzed on country basis; it was observed that Italy reported 788, Germany 313, and Poland 185 notifications. 42,52% of the examined notifications were border rejection, 22,64% of them were alert, 12,8% of them were information requiring attention, 11,36% of them were information and 10,68% of them were information requiring follow-up. 18,76% of risk types had serious, 20,8% had non-serious and 60,44% had undecided risk levels. Hazards that were the subjects of the notifications consisted of chromium (13,18%), formaldehyde (13,12%), primary aromatic amines (11,83%) and nickel (8,75%).

Keywords: Food safety, food contact materials, rapid alert system, RASFF.

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye. mehmetalicanimoglu@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7289-2050.

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye. sberkcanadak@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6758-3755.

³Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye. 161801008@stu.adu.edu.tr, orcid.org/0000-0002-9154-4024.

⁴İstanbul Gelişim Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Gıda Kalite Kontrolü ve Analiz Bölümü, İstanbul, Türkiye. egenc@gelisim.edu.tr, orcid.org/0000-0002-9772-6283.

⁵Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Aydın, Türkiye. asliyorulmaz@adu.edu.tr, orcid.org/0000-0003-4446-6585.

1.GİRİŞ

Güvenli gıdaya ulaşmak sağlıklı yaşamın temeli olup, insanların en doğal hakları arasındadır. Gıda güvenliği politikası tarladan çatala prensibi ile yürütülmekte ve mikrobiyal, kimyasal, kişisel ve çevresel hijyen konularını kapsamaktadır (Fung ve ark., 2018). Günümüzde gıda üretimi ve/veya pazarlaması yapan her şirket gıda kalite güvencesi ile gıda güvenliğini hedeflemektedir. Bu amaçla gıda tedarik zinciri boyunca (üretim, taşıma, depolama) gıda ile temas eden maddeler için yeterli gıda güvenliğinin sağlanarak, insan sağlığının korunması önem arz etmektedir (De Leo ve ark., 2021). Gıda ile temas eden maddeler, gıda ambalajları, depolama tankları, taşıma bantları gibi gıda ile üretim, taşıma ve depolama sırasında iç içe olan ürünlerdir. Bu ürünler arasında plastik, kâğıt, karton, metal, cam, yapıştırıcılar ve baskı mürekkepleri sayılabilir. Temel olarak gıda ambalajları ve gıda ile temas eden maddeler gıdaları fiziksel hasara, kirlenmeye ve mikrobiyal bozulmaya karşı korumakta ve böylece gıda israfını azaltmaktadır. Ancak gıda ile temas eden maddelerden gıdalara pestisit, ağır metal ve kimyasal maddelerin; pişirme ve işleme sırasında akrilamid ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi maddelerin geçişi ya da yanlış kullanım kaynaklı artık temizlik maddeleri gibi kimyasal kirleticilerin bulaşması söz konusu olabilir. Neredeyse tüm maddelerin bileşiminde bulunabilen kimyasallar yanlış yönetildiğinde insan sağlığı için tehlikelidir (Tarım, 2017). Tüm bu maddelerin gıdaya geçişi de insan sağlığı için risk oluşturmaktadır.

Gıda ile temas eden maddelere ilişkin riskleri takip etmenin bir yolu, gıda güvenliğini sağlamada bir iletişim aracı olarak kabul edilen Gıda ve Yem için Hızlı Alarm Sistemi (RASFF)'nde yer alan bildirimlerin kontrol edilmesidir (De Leo ve ark., 2021; Djekic ve ark., 2017). Sistemin yasal dayanağı 178/2002 (EC) sayılı kanun olup, sistem 1979 yılından bu yana kullanılmaktadır. RASFF üyeleri Avrupa Birliği ülkeleri, Avrupa Birliği Komisyonu, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, Avrupa Uzay Ajansı, Norveç, Lihtenştayn, İzlanda ve İsviçre'dir. RASFF sistemine yapılan bildirimler gıda, yem ve gıda ile temas eden maddeler ile ilgili riskleri kapsamaktadır. Gıda ile temas eden maddelerin oluşturduğu riskler, üye ülkeler tarafından RASFF portalına bildirilir. Sisteme yapılan her bildirim; bildirim tarihi, bildirimde bulunan ülke, bildirim türü, bildirim esasları, bildirim konusu, dağıtım koşulları ve risk türleri gibi bilgileri içermektedir (Parisi ve ark., 2016). Rapor edilen bilgiler sadece üye ülkeler arasında hızlı bir iletişim ağı sağlamakla kalmayıp, hızlı aksiyon almayı kolaylaştırarak gıda güvenliğini sağlamaya yardımcı olmaktadır.

RASFF, kaydedilen verileri kendi portalı üzerinden yayınlamaktadır. Böylece bu verilere erişerek gıda ile ilgili riskin kategorisi, ilgili riskin hangi yılda ve hangi ülke tarafından bildirildiği bununla birlikte bildirim temeli, risk kararı, alınan önlem, dağıtım durumu ve bildirim türü gibi veriler analiz edilebilir. De Leo ve ark. (2021) tarafından, 2007-2019 yılları arasında gıda ile temas eden maddeler nedeniyle RASFF sistemine yapılan bildirimler analiz edilmiştir. Çalışmada, bu yıllar arasında rapor edilen ürünlerin menşei ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin önemi değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, ürünlerin menşei (Çin, Avrupa, Avrupa dışı) ile seçilen diğer değişkenler (tehlike kategorisi, gıda ile temas eden maddenin türü, bildirim türü, dağıtım durumu ve risk kararı) arasında önemli bir ilişki olduğunu göstermiştir (De Leo ve ark., 2021). Çınar ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada, 2009-2016 yılları arasında RASFF portalında yer alan Türkiye kaynaklı ürünler ile ilgili yapılan bildirimleri incelemişlerdir. Bu çalışmada elde edilen veriler ürün, tehlike grubu, yıl ve bildirim türlerine göre analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne ihracatındaki sorunun temel nedeninin ürünlerde bulunan yüksek aflatoksin olduğu tespit edilmiştir.

Mevcut çalışmanın amacı, 2002-2020 yılları arasında farklı ülkeler tarafından RASFF portalına rapor edilen gıda ile temas eden maddeler ile ilgili tüm verileri derlemek ve detaylı bir rapor hazırlamaktır. Bu amaçla 31 ülke tarafından RASFF portalına kaydedilen veriler incelenmiş ve

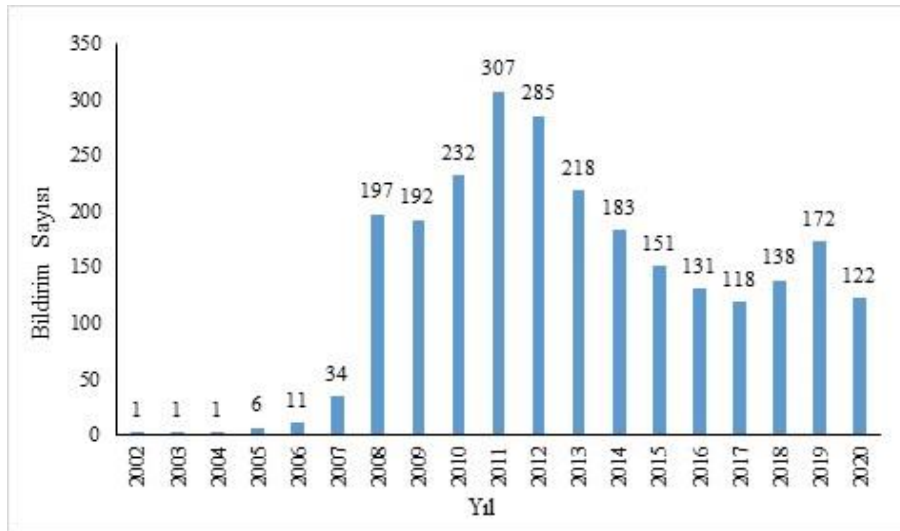
elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. İlgili bulgular; yıllara göre bildirim sayısı, bildirim türü, bildirimde bulunan ülke, bildirim temeli, risk dereceleri, ürünün dağıtımdaki durumu, alınan önlem ve tehlike kategorileri hakkında ayrıntılı bilgi sağlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Üye ülkeler tarafından gıda ile temas eden maddeler hakkında yapılan bildirimlerin verileri RASFF portalında yayınlanmaktadır. Yayınlanan bildirimler için; tehlike kategorisi, bildirim yılı, bildirimde bulunan ülke, bildirim temeli, risk derecesi, alınan önlem, dağıtım durumu ve bildirim türü gibi bilgiler sistemde bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, 31 ülke tarafından 1 Ocak 2002-31 Aralık 2020 tarihleri arasında RASFF portalına kaydedilen gıda ile temas eden maddeler ile ilgili veriler derlenmiştir. Derlenen veriler Microsoft Excel programı kullanılarak işlenmiştir ve ilgili grafikler oluşturulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

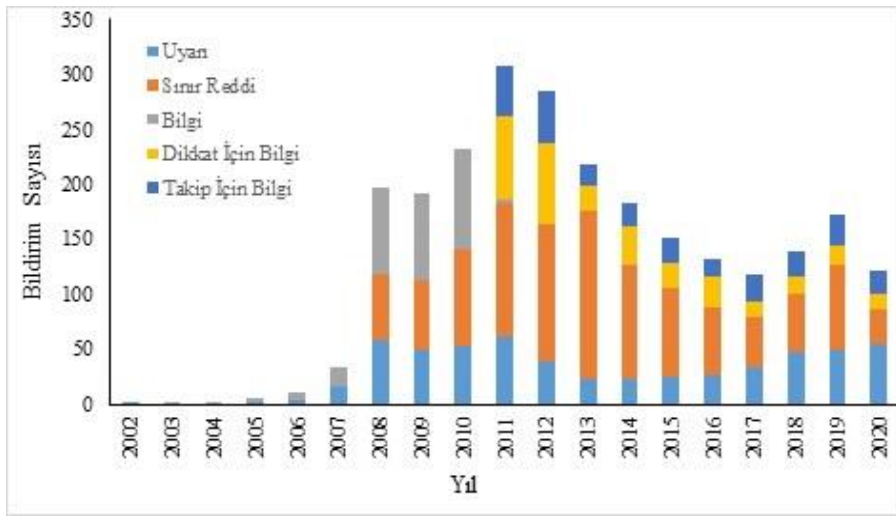
Gıda ve Yem için Hızlı Alarm Sistemi (RASFF)'nde 2002 ve 2020 yılları arasında gıda ile temas eden maddeler için oluşturulmuş bildirimler Şekil 1'de yer almaktadır. Toplam 2500 bildirim rapor edilmiştir. 2002 yılından 2007 yılına kadar geçen sürede bildirim sayısı sınırlı iken, 2007 yılı itibariyle hızlı bir artış görülmüştür ve 2008 yılında yapılan bildirim sayısı yaklaşık 5,5 kat artmıştır. Bu hızlı artış Temmuz 2008 itibariyle, Çin'den ithal edilen plastik mutfak malzemelerinde kullanılan formaldehit-melamin ve ftalatlar başta olmak üzere zararlı kimyasallar içeren bazı maddelere, katı limit kuralları uygulanmaya başlanması ile ilişkilendirilmiştir (RASFF, 2008). En yüksek bildirim sayısına (307 bildirim) 2011 yılında ulaşılmış, bu yıldan sonra ise bildirim sayılarında düşüş gözlenmiştir.



Şekil 1. Gıda ile Temas Eden Madde Bildirimlerinin Yıllar İçindeki Değişimi (2002-2020)

RASFF portalında yer alan bildirimler alarm, sınır reddi, bilgi, takip için bilgi, dikkat için bilgi olarak kategorize edilir ve sonucunda alınacak önlemler bildirim türüne göre farklılık gösterir. Alarm bildirimi; ürünün piyasadan geri çekilmesi gibi hızlı önlem gerektiren durumlarda kaydedilir ve üye devletlere ürünün piyasada olup olmadığına dair bilgiler sunar. Bilgi bildirimleri; bir risk tespit edildiğinde ancak bu risk hızlı bir aksiyon gerektirmediğinde kaydedilir. Sınır reddi bildirimleri; ürün bir sağlık riski taşıdığına, ürünün AB'ye herhangi bir

sınır kapısında girmemesi için kullanılır. Diğer bildirimlerin kapsamına girmeyen ancak kontrol yetkililerinin dikkatini çeken her türlü bilgi ise haber bildirimleri şeklinde sistemde yer alır (RASFF, 2015). RASFF portalında yer alan gıda ile temas eden maddelerin bildirim türlerinin yıllara göre (2002 - 2020) değişimi Şekil 2'de verildiği gibidir. Bu sisteme 2002-2020 yılları içerisinde yapılan bildirimlerin %22,64'ü (566 bildirim) alarm, %42,52'si (1063 bildirim) sınır reddi, %11,36'sı (284 bildirim) bilgi, %12,8'i (320 bildirim) dikkat için bilgi, %10,68'i (267 bildirim) takip için bilgi bildirimleridir. 2002-2007 yılları arasında yapılan bildirimler sadece alarm ve bilgi bildirimleri iken; 2008 yılından itibaren sınır reddi bildirimleri sisteme girilmeye başlanmıştır. Sisteme en fazla veri 2011 yılında (307 bildirim) kaydedilmiş ve bunların %39,73'ü sınır reddi bildirimleri olmuştur. 2011 yılı itibarıyla sistemde takip için bilgi ve dikkat için bilgi bildirimleri görülmeye başlanmış ve 2012 yılı itibarı ile bilgi bildirimlerinin sisteme kaydı sonlandırılmıştır.



Şekil 2. Gıda ile Temas Eden Madde Bildirim Türlerinin Yıllar İçindeki Değişimi (2002-2020)

RASFF portalında yer alan bildirimler farklı temellere dayanmaktadır. Gıda ile temas eden madde bildirimlerinin %50,28'i (1257 bildirim) piyasadaki resmi kontroller sırasında, %45,24'ü (1131 bildirim) sınır kontrolünde, %2,6'sı (65 bildirim) tüketici şikayetleri ile, %1,4'ü (35 bildirim) firmaların kendi kontrolleri sırasında, %0,24'ü (6 bildirim) RASFF bildirimleri ardından gerçekleştirilen resmi kontroller sırasında ve %0,2'si (5 bildirim) üye olmayan ülkelerdeki resmi kontroller sırasında tespit edilmiştir. Portalda sadece Danimarka tarafından 2002 yılında yapılan 1 bildirim için bildirim temeli belirtilmemiştir.

RASFF portalında yer alan bildirimler farklı ülkeler tarafından sisteme gönderilmektedir. Gıda ile temas eden maddeler konusunda sisteme en fazla bildirim gönderen ülke 788 bildirim ile İtalya'dır. İtalya tarafından rapor edilen bildirimlerin 692'si sınır reddi, 46'sı dikkat için bilgi, 22'si bilgi, 20'si takip için bilgi ve 8'i alarm bildirimleridir. Almanya 313 bildirimde bulunarak en çok bildirim rapor eden ikinci ülke olmuştur. Almanya'nın gönderdiği bildirimlerin 155'i alarm, 15'i sınır reddi, 49'u bilgi, 30'u dikkat için bilgi ve 64'ü takip için bilgi kategorisinde kaydedilmiş bildirimlerdir. Polonya 185 bildirim ile en çok bildirimde bulunan ülkeler arasında üçüncü sıradadır. Bu bildirimlerin 60'ı alarm, 34'ü sınır reddi, 23'ü bilgi, 45'i dikkat için bilgi ve 23'ü takip için bilgi kategorisindedir. Birleşik Krallık bu süreçte 132 bildirimde bulunmuştur. Bunların 13'ü alarm, geri kalanı ise genellikle bilgi kategorisindedir. Diğer üye ülkelerin bildirim sayısı daha düşüktür. Çekya ve Finlandiya 128, Slovenya 112, Belçika 84, Avusturya 77, Kıbrıs 74, Yunanistan 73, İspanya 63, İrlanda 57, Fransa 47, Litvanya 31, Slovakya 29, Danimarka 28, Hollanda 26, Estonya 25, Lüksemburg 25, Letonya 14, Hırvatistan 12, İsviçre 12,

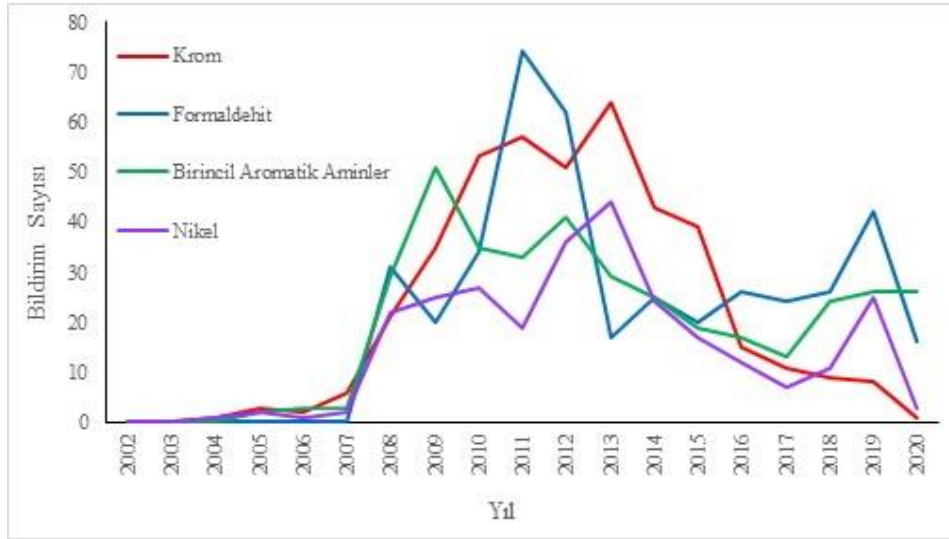
Portekiz 9, Malta 7, Norveç 7, İsveç 4, Macaristan 3, Bulgaristan 1 ve Romanya 1 bildirimde bulunmuştur.

Gıda ile temas eden maddelerden gıdaya geçebilen tehlikeli maddeler farklı kategorilerde incelenebilmektedir. Bu tehlikelerin arasında metal geçişi önemli yer tutmaktadır. Gıdaya geçen toksik metaller yok edilemedikleri için, gıdalar ile alındığında insan vücudunda birikebilir ve ciddi hastalıkların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir (Pigłowski, 2018). Krom ve nikel, üreticiler tarafından seramik ve cam eşya gibi gıda ile temas etmesi amaçlanan malzemelerin üretiminde görsel artırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden gıdalarda metal kirliliğine neden olan en önemli ağır metaller arasında ise krom ve nikel sayılabilir. Kromun insan vücuduna alındıktan sonra neden olabileceği hastalıklar mutajenik, teratojenik ve karsinojen olup, akciğer kanseri, nazal ve paranazal sinüs kanseri gibi hastalıklardır (Szydal ve ark., 2016). Nikelin insan vücuduna alınması gastrointestinal sistem, hematolojik, nörolojik ve bağışıklık sisteminde sorunlara neden olabilmektedir (Spiewak ve ark., 2007). Gıda ve İlaç Ambalaj Malzemeleri Uzmanları Komitesi, gıda ile temas eden malzemelerin üretiminde kullanılan ve gıdaya salınan nikel ve krom için 0,14 ve 0,25 mg/kg migrasyon limiti önermiştir (Szydal ve ark., 2016).

Bir diğer önemli sayılan tehlike grubu ise gıdalara kimyasal madde göçüdür. Gıdaların kimyasal kontaminasyonu endüstriyel faaliyetler sırasında meydana gelir. Bu tür kontaminasyon, gıda üretimi, paketlenme, depolama ve daha sonraki kullanım sırasında ortaya çıkabilmektedir (Conacher ve ark., 1993). Kimyasal kontaminasyon insan sağlığı için tehlike oluşturabilir. Bu tür kimyasal kirleticilerin neden olduğu hastalıklardan bazıları gastroenterit, ölümcül karaciğer, böbrek ve nörolojik sendrom gibi durumlardır (Kamala ve ark., 2018). Gıdalarda etkileşim sonrası kimyasal kontaminasyonlara neden olan kimyasallardan bazıları formaldehit ve birincil aromatik aminlerdir. Formaldehit, gıda ile temas etmesi amaçlanan bir malzeme üretmek için kullanılan monomerdur. Formaldehit, bazı plastik ve kağıt ambalajların üretiminde ve bardak, tabak, kase ve çatal bıçak gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu ürünler melamin-formaldehit reçinesinin toz veya granüller halinde sıkıştırılmasıyla üretilir (Bradley ve ark., 2005). Formaldehitin gıdaya salınmasından sonra hem ürün hem de insan sağlığı üzerinde bazı sorunlara neden olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin kağıt ambalaj malzemelerinden formaldehit salınımı nedeniyle gıdalarda istenmeyen kokuların oluştuğu gözlemlenmiştir. Formaldehitin insan sağlığı üzerinde oluşturduğu hastalıklar ise göz ve solunum tahrişi, mide bulantısı, baş ağrısı ve yorgunluk gibi hastalıklardır (Ekinci ve ark., 2015). Birincil aromatik aminler, poliüretan yapıştırıcılarda aromatik izosiyanatların hidrolizi sonucu oluşur. Ayrıca naylon mutfak eşyaları ve diğer plastik malzemelerde renklendirici olarak kullanılan azodidlerin parçalanmasıyla da oluşurlar. (AB) 10/2011 sayılı yönetmeliğe göre, gıdaya salınarak migrasyona neden olan birincil aromatik aminlerin maksimum limiti 0,01 mg/kg'dır (Sanchis ve ark., 2019). Birincil aromatik aminleri içeren ürünlere örnek olarak, silikondan yapılmış çırpma teli, kaşık, maşa, spatula, oluklu kaşık, kepçe ve palet gibi mutfak gereçleri verilebilir. Birincil aromatik aminler yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmalarına rağmen 250-300 °C gibi sıcaklıklarda gıdaya salınabilmektedirler (McCune, 1962). Birincil aromatik aminlerin gıda ile teması insan sağlığına tehdit oluşturabilir. Oluşabilecek bu hastalıklara örnek olarak bağırsak hastalıkları ve kanser gibi hastalıklar gösterilebilir (Matarozzi ve ark., 2013).

Gıda ve Yem İçin Hızlı Alarm Sistemi'nde gıda ile temas eden maddeler için farklı tehlikeler yer almaktadır. 2002-2020 yılları içinde Hızlı Alarm Sistemi'ne 2500 bildirim raporlanmış olmasına rağmen 3177 tehlike türü kaydedilmiştir. Bu farklılığın nedeni bazı ürünlerin birden fazla tehlike türüne sahip olmasıdır. Hakkında en çok bildirimde bulunan tehlikeler; ürünlerdeki krom, formaldehit, birincil aromatik amin ve nikel varlığı olmuştur. Krom 419 bildirim ile tüm tehlikelerin %13,18'ini, formaldehit 417 bildirim ile %13,12'sini, birincil aromatik amin 376 bildirim ile %11,83'ünü ve nikel 278 bildirim ile %8,75'ini oluşturmaktadır. Gıda ile temas eden madde bildirimlerinde en fazla rapor edilen dört tehlike türünün (krom, formaldehit, birincil

aromatik aminler, nikel) yıllar içindeki değişimi Şekil 3'te verildiği gibidir. Krom kaynaklı bildirimler ilk olarak 2004 yılında görülmüş ve 2011 yılına kadar artış göstermiştir. En yüksek bildirim sayısı (64 bildirim) 2013 yılında kaydedilmiş ve ardından kademeli olarak azalma göstermiştir. Formaldehit kaynaklı bildirimler ise ilk olarak 2008 yılında rapor edilmiş, 2011'e kadar sayıca artmış ve 2011 yılında 74 bildirim ile pik yapmıştır. Birincil aromatik aminlerden kaynaklı sorunlar 2005 yılında sisteme bildirilmeye başlanmıştır. Bu konuda en çok bildirim rapor edilen yıl 51 bildirim ile 2009'dur. Nikel bildirimlerinin ise ilk olarak 2004 yılında portala girildiği görülmüştür. 2011-2013 yılları arasında RASFF portalına kaydedilen nikel kaynaklı bildirim sayısı artış göstermiştir. En çok bildirim (44 bildirim) kaydedilen yıl ise 2013 yılıdır.



Şekil 3. Gıda ile Temas Eden Madde Bildirimlerinde En Fazla Rapor Edilen Dört Tehlike Türünün (Krom, Formaldehit, Birincil Aromatik Aminler, Nikel) Yıllar İçindeki Değişimi (2002-2020)

Tehlike oluşturan diğer sebepler %8,49 (270 bildirim) ile çok yüksek genel migrasyon düzeyi, %6,57 (209 bildirim) ile kurşun, %6,16 (196 bildirim) ile manganez, %4,94 (157 bildirim) ile kadmiyum, %4,75 (151 bildirim) ile melamin, %1,73 (55 bildirim) ile bozulma, %1,57 (50 bildirim) ile yüksek bileşen içeriği, %1,41 (45 bildirim) ile di (2-etilheksil) fitalat, %1,25 (40 bildirim) ile epoksitlenmiş soya fasulyesi yağı, %1,07 (34 bildirim) ile uçucu organik bileşenler, %1,03 (33 bildirim) ile iç kaplama problemleri, %1 (32 bildirim) ile renk, %0,78 (25 bildirim) ile kobalt, %0,66 (21 bildirim) ile gıda ile teması uygun olmayan malzemeler, %0,63 (20 bildirim) ile 4,4'-diaminodifenilmetan ve %0,63 (20 bildirim) ile alüminyum varlığı sayılabilir. Daha az sayıda kaydedilen diğer tehlike sebepleri; korozyon (19), noksanlık (19), di-izononil fitalat (17), benzofenon (16), kırılma (13), keskin parçalar (13), demir (11), bisfenol A (11), uygunsuzluk (9), 4-metilbenzofenon (9), bis (2-etilheksil) tereftalat (9), boğulma riski (9), çinko (8), dış kaplama (8), arsenik (7), kontrolsüzlük (7), aşınmış malzeme (7), DINCH (7), dibütil fitalat (7), yasadışı olmaya teşebbüs (6), 1-hidroksi-sikloheksil fenil keton (6), di (2-etilheksil) adipat (6), 2-metil-4'-(metiltio) -2-morfolinopropiofenon (6), semikarbazid (5), izopropil tiyoksanton (5), eksik ithalat beyanı (5), mineral yağ (5), paslı ürün (4), yaralanma riski (4), 3-monoklor-1,2-propandiol (4), metil-2-benzoilbenzoat (3), anormal koku (3), metal kısımlar (3), kusurlu ambalajlama (3), diizodesil fitalat (3), N-nitrozlaşabilen bileşikler (3), plastik parçalar (3), antimon (2), yanlış etiketleme (2), yabancı cisim (2), siklik oligomerler (2), 4-benzoilbifenil (2), benzen (2), siklo-di-BADGE (2), naftalin (2), tahriş (1), kötü hijyenik durum (1), benzo (a) piren (1), iç renk sorunu (1), metal parçalar (1), metal şeritler (1), akrilonitril (1), alkilsülfonik fenil ester (1), benzil bütil fitalat (1), diizobütil fitalat (1), dimetil fitalat (1), *p-tert*-bütilbenzoik asit (1), rodamin B (1), silikon elastomer (1), tribütil asetil sitrat (1), tri-n-bütil asetil sitrat (1),

tanımlanamayan madde (1), oksidasyon (1), plastik partiküller (1), salmonella (1), aerobik mezofiller (1), uygun olmayan organoleptik özellikler (1) ve küftür (1).

Hızlı Alarm Sistemi'ne bildirimde bulunulduğunda riske konu olan ürünlerle ilgili alınan tedbirler portalda raporlanmaktadır. Gıda ile temas eden maddelere ilişkin risk söz konusu olduğunda bildirimlerin %56,28'inde ürün piyasadan çekilmiştir (787 bildirim). Bunun dışında ürünü gönderme (376), ürünü tüketiciden geri çekme (244), ürünü imha etme (167), ürünün ithal yetkisini kaldırma (147), ürünü gümrük mührü altında tutma (95), ürünü göndericiye iade etme (65), basın bildirisi ile kamuyu uyarma (55), yetkilileri bilgilendirme (45), alıcıları bilgilendirme (36), alıcılardan geri çekme (29), operatör tarafından alıkonma (26), ticaret ve satış yasağı (6), yeniden etiketleme (5), kontrollerin arttırılması (5), gıda ve yem dışı amaçlarla kullanma (2), fiziksel/kimyasal işlem uygulama (1), kullanım yasağı getirme (1) şeklinde tedbirler alınmıştır. Ayrıca 26 bildirim için hiç işlem yapılmamış, 14 bildirim için ise stokların bittiği tespit edilmiştir.

RASFF portalında, bildirimde konu olan ürünlerin dağıtım durumları ile ilgili bilgilere de yer verilmektedir. Gıda ile temas eden maddeler için bildirilen toplam 2500 bildirimden 2497 bildirim dağıtım türü sistemde belirtilmiş olup, kalan 3 bildirim (%0,12) dağıtım türü hakkında herhangi bir bilgi verilmemiştir. Bu yıllar arasında 490 bildirimde konu olan ürün için (%19,6) dağıtım yapılmadığı bilgisi verilirken; 473'ünün (%18,92) piyasaya arz edilmeyen ürün olduğu, 429'unun (%17,16) bildirici ülkeye sınırlı dağıtıldığı, 358'inin (%14,32) diğer üye ülkelere dağıtılmış olduğu, 283'ünün (%11,32) pazarda dağıtıldığı, 201'inin (%8,04) dağıtım bilgisinin mevcut olmadığı, 120'sinin (%4,8) gümrük mührü ile varış noktasına seyahat etmesine izin verilen ürün olduğu, 111'inin (%4,44) bildiren ülkeden dağıtımının olmadığı, 8'inin (%0,32) son kullanma tarihi geçmiş ürün olduğu, 7'sinin (%0,28) üye olmayan ülkelere dağıtıldığı, 5'inin (%0,2) stokta kalmadığı, 4'ünün (%0,16) diğer üye ülkelere dağıtımının olmadığı ve 4'ünün (%0,16) artık piyasada olmayan ürün olduğu raporlanmıştır.

Hızlı Alarm Sistemi'ne gönderilen bildirimler portalda risk derecelerine göre ciddi, ciddi olmayan ve kararsız kalınmış bildirimler olarak üç grupta kategorize edilmektedir. Gıda ile temas eden maddelere ilişkin 2500 bildirimden 469'u (%18,76) ciddi, 520'si (%20,8) ciddi olmayan, 1511'i (%60,44) kararsız kalınmış olarak değerlendirilmiştir. Sistemde 2012 yılının başına kadar kararsız risk kategorisinde bildirimler kaydedilirken, 2012 yılından itibaren ciddi ve ciddi olmayan risk türünde kategorize edilen bildirimler görülmeye başlanmıştır. Risk dereceleri arasında kararsız şeklinde kategorize edilen türün en yaygın görüldüğü yıllar 2008-2012 yılları arasındadır ve 2012'den sonra bu tür risklerde önemli bir düşüş gözlenmiştir. 2012-2015 yılları arasında ciddi olmayan risk kategorisi diğerlerine göre belirgin bir artış göstermiş, ancak 2015 sonrasında diğer risk grupları ile benzer bir değişim gözlenmiştir. Ciddi risk derecesine sahip bildirimler 2012 yılından itibaren görülmeye başlanmış, ancak çok yüksek seviyelere ulaşmamıştır.

4.SONUÇ

Bu çalışma kapsamında 2002-2020 yılları arasında RASFF sistemine bildirilen gıda ile temas eden maddeler hakkındaki bildirimler değerlendirilmiştir. Derlenen veriler ışığında, belirtilen yıllar arasında gıda ile temas eden ve gıda güvenliğini tehdit eden maddeler için 2500 adet bildirim kaydedildiği görülmüştür. Sisteme rapor edilen bildirim sayılarının 2007 yılı itibariyle arttığı ve 2011 yılında en üst değere ulaştığı saptanmıştır. Bu bildirimlerin çoğu sınır reddi ile sonuçlanmıştır. Rapor edilen bildirimlerin büyük bir kısmı, piyasa kontrolleri ve sınır kontrollerinin bir sonucu olarak sisteme bildirilmiştir. Sisteme en fazla bildirim gönderen ülke İtalya iken, onu Almanya ve Polonya izlemiştir. En çok bildirimde bulunan tehlikeler; krom,

formaldehit, birincil aromatik amin ve nikel olmuştur. Riskli olduğu belirlenen ürünler için en fazla alınan tedbir ürünün piyasadan çekilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ürünlerin bir kısmı geri gönderilmiş, imha edilmiş ya da resmi makamlarca kontrol altına alınmıştır. Raporlanan bildirimlerde ürünlerin risk dereceleri için genellikle kararsız kalınmıştır. Tüm veriler değerlendirildiğinde RASFF portalında yer alan gıda ile temas eden madde bildirimlerinin; ürünlerin takibine, kontrolüne ve aynı zamanda gıda güvenliğine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Bradley, E. L., Boughtflower, V., Smith, T. L., Speck, D. R. & Castle, L. (2005). Survey of the migration of melamine and formaldehyde from melamine food contact articles available on the UK market. *Food Additives and Contaminants*. 22(6), 597-606. <https://doi.org/10.1080/02652030500135243>.
- Conacher, H. B. S., Page, B. D. & Ryan, J. J. (1993). Industrial chemical contamination of foods. *Food Additives and Contaminants*. 10(1), 129-143. <https://doi.org/10.1080/02652039309374136>.
- Çınar, S., Yılmaz, S. N., Aydın, E. & Yorulmaz, A. (2017). Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) 2009-2016 Turkey Report. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 5 (8), 873-82. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i8.873-882.1155>.
- De Leo, F., Coluccia B., Miglietta P. P. & Serio F. (2021). Food Contact Materials Recalls and International Trade Relations: An Analysis of the Nexus Between RASFF Notifications and Product Origin. *Food Control*. 120, 107518-107526. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107518>.
- Djekic, I., Jankovic, D. & Rajkovic, A. (2017). Analysis of Foreign Bodies Present in European Food Using Data from Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF). *Food Control*. 79, 143-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.047>.
- Ekinci Dogan, C. & Sancı, R. (2015). Formaldehyde migration in aqueous extracts from paper and cardboard food packaging materials in Turkey. *Food Additives and Contaminants: Part B*. 8(3), 221-226. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1057872>.
- Fung, F., Wang, H. S. & Menon, S. (2018). Food Safety in the 21st Century. *Biomedical Journal*. 41 (2), 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>.

- Kamala, K., Kumar, V. P. (2018). Food Products and Food Contamination. *Microbial Contamination and Food Degradation*. 1–19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811515-2.00001-9>.
- Tarım, M. (2017). Kimya Sektöründe İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(32), 49-64.
- Mattarozzi, M., Lambertini, F., Suman, M. & Careri, M. (2013). Liquid chromatography–full scan-high resolution mass spectrometry-based method towards the comprehensive analysis of migration of primary aromatic amines from food packaging. *Journal of Chromatography A*. 1320, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.10.063>.
- McCune, L. K. (1962). HT-1 High-Temperature-Resistant Polyamide Fibers and Paper. *Textile Research Journal*. 32(9), 762–767.
- Parisi, S., Barone, C. & Sharma, R. K. (2016). RASFF Alert and Information Notifications. A Statistical Review. *Chemistry and Food Safety in the EU*. 19-46.
- Piğłowski, M. (2018). Heavy metals in notifications of rapid alert system for food and feed. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(2), 365. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020365>.
- RASFF. (2008). The Rapid Alert System for Food and Feed annual report, European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/80ad3642-f706-4102-b413-ca00357e8b34/language-en/format-PDF/source-174744260> adresinden 07 Mayıs 2021 tarihinde alınmıştır.
- RASFF. (2015). The Rapid Alert System for Food and Feed annual report, European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/98e04cfc-aa54-11e6-aab7-01aa75ed71a1/language-en> adresinden 07 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sanchis, Y., Coscollà, C. & Yusà, V. (2019). Comprehensive analysis of photoinitiators and primary aromatic amines in food contact materials using liquid chromatography high-resolution mass spectrometry. *Talanta*. 191, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.08.047>.
- Spiewak, R., Pietowska, J. & Curzytek, K. (2007). Nickel: a unique allergen—from molecular structure to European legislation. *Expert Review of Clinical Immunology*. 3(6), 851-859. <https://doi.org/10.1586/1744666X.3.6.851>.
- Szynał, T., Rebeniak, M., & Mania, M. (2016). Migration studies of nickel and chromium from ceramic and glass tableware into food simulants. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 67(3), 247-252.



Araştırma Makalesi / Research Article

**KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN SOSYAL VE TEKNİK GEREKÇELERİ,
GAZİOSMANPAŞA İLÇESİ SARIGÖL-YENİDOĞAN KENTSEL
DÖNÜŞÜM ÖRNEĞİ***

SOCIAL AND TECHNICAL REASONS FOR URBAN TRANSFORMATION,
THE EXAMPLE OF URBAN TRANSFORMATION IN SARIGÖL-YENİDOĞAN,
GAZİOSMANPAŞA

Hümevra USTA KIRALI¹

Nihat Enver ÜLGER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbdb.1040054>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
humeyraustakirali@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
22.12.2021

Kabul Tarihi / Accepted
19.01.2022

Öz

1950'li yıllardan itibaren Türkiye'de artan göç hareketliliği gelişmekte olan birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de şehirleşmede önemli sorunlardan biri olan gecekondulaşmayı oluşturmuştur. Yoğun göçler sonucu nüfus artışı, çarpık kentleşmeye ve gecekondu işgallerine sebep olmuştur. Nüfusun düşük gelir düzeyine sahip olması yapı kalitesinin düşük olmasına, buna bağlı olarak altyapı, yol ve sosyal donatı eksikliğine yol açmıştır. Yapılaşmanın sebep olduğu problemleri çözmek risk altında bulunan sağlıksız koşullardaki binaların yerine yaşam kalitesi yüksek depreme dayanıklı kentsel gereksinimleri yerine getiren çalışmalar yapılırken kentsel dönüşüm kavramı da yaygınlaşmaya başlamıştır. Kentsel dönüşüm çalışmalarını sonucunda daha değerli depreme karşı dayanıklı yaşanılabilir sağlıklı bir çevre oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kentsel dönüşüm kavramı, tarihsel süreci ve İstanbul Gaziosmanpaşa ilçesinin gelişimi kentsel dönüşümde uygulanan modeller ve Gaziosmanpaşa ilçesinin tamamlanan ilk kentsel dönüşüm projesi olan Sarıgöl Yenidoğan kentsel dönüşüm projesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gaziosmanpaşa, kentleşme, kentsel dönüşüm, Sarıgöl, Yenidoğan.

Abstract

Increasing migration mobility in Turkey since the 1950s has created squatting, which is one of the important problems in urbanization in our country, as in many developing countries. Population growth as a result of intense migration has led to unplanned urbanization and squatter occupations. The low income level of the population has led to the low quality of the building and consequently the lack of infrastructure, roads and social reinforcements. As a result of urban transformation studies, a more valuable and earthquake-resistant livable healthy environment is created. In this study, the concept of urban transformation, its historical process and the development of Istanbul Gaziosmanpaşa district, the models applied in urban transformation, and the Sarıgöl Yenidoğan urban transformation project, which is the first completed urban transformation project of Gaziosmanpaşa district, were examined.

Keywords: Gaziosmanpaşa, Sarıgöl, urban transformation, urbanization, Yenidoğan.

*Bu yayın Hümevra USTA KIRALI isimli öğrencinin İstanbul Okan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kentsel Dönüşüm Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Okan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
humeyraustakirali@gmail.com, [Orcid.org/0000-0001-8171-0562](https://orcid.org/0000-0001-8171-0562).

²İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
enver.ulger@okan.edu.tr, [Orcid.org/0000-0001-7502-7388](https://orcid.org/0000-0001-7502-7388).

1. GİRİŞ

1.1. Kentsel Dönüşüm Kavramı ve Tarihsel Süreci

19. yüzyılda başlayan sanayi devrimi sonrasında birçok fabrika ve sanayi alanı belirli bir odak noktası oluşturarak insanları bu odak noktalarında yaşamaya zorlamıştır. Yaşam alanlarının ve sosyal donatıların belirlenen kısıtlı alanlarda çözümlenme zorunluluğu birçok kentsel sorunu da beraberinde getirmiştir. Bu kentsel problemler çözümlerine kavuşmadan ortaya çıkan II. Dünya Savaşı ile birlikte Avrupa’da yıkılmış zaten birçok kentsel problemi olan kentlerin onarılma sürecinde artık tam anlamıyla kentsel dönüşüm kavramı kaçınılmaz bir eylem olarak ortaya çıkmıştır. Kentsel Dönüşüm kavramı, tekniği ve anlamı farklı dönemlerde farklı bakış açılarına göre ele alınmıştır. Literatürde kentsel yenileme olgusunu tanımlayan çok sayıda ifade bulunur. Bunun nedeni kavramın kendisinin çok boyutlu yapısıdır. Bu yüzden de kentsel yenileme, “zaman içinde eskimiş ve yıpranmış kent dokularının, günün sosyal ve ekonomik şartlarına uygun olarak değiştirilmesi veya yenilenmesini sağlayan süreçtir” (Atalık ve ark., 1985 akt. Özden, 2006). Ayrıca Kentsel yenileme, mevcut dokunun doluluk ve boşluk oranlarının değerlendirilerek yenilenmesi, mevcut ve yeni yapılacak yapılara ilişkin kararların alınması, korunacak yapılara ilişkin koruma kriterlerinin saptanması, ulaşım ağının gözden geçirilmesi, alanın yeniden işlevlendirilmesi, toplumsal yenilemeyi odağına alarak, sosyal profile ilişkin politikaların belirlenmesi gibi son derece önemli ve kapsamlı hedefleri olan bir uygulamadır (Özden, 2016).

Yine Türk Dil Kurumu sözlüğünde kentsel dönüşüm “kentin imar planına uymayan, ruhsatsız binaların yıkılıp, planlara uygun olarak toplu yerleşim alanlarının oluşturulması” olarak tanımlanmıştır. Kentsel dönüşüm kavramı amaç, vizyon, yönetmeler ve stratejilerine göre farklı birçok tanım ile açıklanmaktadır. Örneğin;

1. Roberts (2000), kentsel dönüşümü kavramını, “Kapsamlı ve bütünleşik (entegre) bir vizyon ve eylem olarak, bir alanın ekonomik, fiziksel, toplumsal ve çevresel koşullarının sürekli iyileştirilmesini sağlamaya çalışmak” olarak,
2. Lichfield’a (1992) göre kentsel dönüşüm, “Kentsel bozulma süreçlerini daha iyi anlama ihtiyacından doğan ve gerçekleştirilecek dönüşümde elde edilecek sonuçların üzerinde bir uzlaşma” olarak,
3. Donnison’a (1993) göre ise kentsel dönüşüm, “Kentsel çöküntü alanlarında yoğunlaşan sorunları eşgüdümlü bir biçimde çözmek için ortaya konulan yeni yol ve yöntemler” olarak,
4. Thomas (2003: 43) ise kentsel dönüşümü, “Kentsel sorunların çözümünü sağlayan ve değişime uğrayan bir bölgenin ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel koşullarına kalıcı bir çözüm sağlamayı amaçlayan kapsamlı bir vizyon ve eylem” olarak,
5. Kocabaş (2006: 10), kentsel dönüşümü kentsel yenileştirme olarak ele almakta olup, “...toplum tabanlı yenileştirme aracılığı ile en yoksul mahallelerde yaşayan vatandaşların koşullarının iyileştirilmesi ve aynı zamanda doğal ve yapılaştırılmış tarihi çevrenin korunması ve kentsel alanların çevresel performanslarının iyileştirilmesine ilişkin ölçüler aracılığı ile kentsel yapılaşmanın / gelişmenin olumsuz çevresel etkisini azaltan, kent ve kasabaların ekonomik yarışabilirliğini destekleyen ortaklık tabanlı eylem programlarını uygulamayı hedefleyen, bütünleştirilmiş kamu sektörü öncülüğünde yürütülen süreç” olarak,

6. Roberts (2000), başka deyişle, kentsel dönüşümü “yitirilen bir ekonomik etkinliğin yeniden geliştirilmesi ve canlandırılması, işlemeyen bir toplumsal işlevin işler hale getirilmesi, toplumsal dışlanma olan alanlarda toplumsal bütünleşmenin sağlanması, çevresel kalitenin veya ekolojik dengenin kaybolduğu alanlarda bu dengenin tekrar sağlanması” olarak tanımlamaktadırlar (Kentsel Dönüşüm Çalıştayı Sonuç Raporu 2014).

Görüldüğü gibi kentlerin gelişimi ve dönüşümü birçok etken ve sebebe bağlı olarak gelişebilmektedir. Bunlar bazen kentlerin belirli sebeplere bağlı olarak odak noktalarının değişmesi, bazen savaşlar ve büyük yıkımlar bazen de doğa felaketleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin birçok kentinde ve belirlenen alanlarda yapıların mukavemetlerini kaybetmesi, sosyal donatı eksikliği, jeolojik, jeoteknik açıdan uygun olmayan durumlardan dolayı kentsel dönüşüm ve gelişim projeleri yürütülmektedir. Öyle ki ülkemiz mevzuatı da bu konuda her geçen gün konunun teknik ve hukuki isteklerine göre değişim ve gelişim göstermiştir. Bu bağlamda ülkemiz mevzuatına Kentsel Dönüşüm kavramının yasalara ilk girişi 2004 yılındaki “5104 Sayılı Kuzey Ankara Girişi Kentsel Dönüşüm Kanunu” nda yer almış olmasına rağmen kentsel dönüşüm içerikli ilk yasal oluşumların ve çalışmalarının Cumhuriyetin ilk yılları olan savaş sonrası dönemde ülkemizin çeşitli kentlerinde başladığı görülmektedir. Yapılan bütün yasal düzenlemeler sağlıklı kent parçalarının ortaya çıkmasına engel olamamış, gecekondular olarak ifade edilen alanların oluşumu devam etmiştir. Bunun üzerine 1966 yılında Gecekondular Kanunu yürürlüğe girerek gecekondular alanlarının düzenlenmesi, ortadan kaldırılması ve gecekondular yapısının önüne geçilmesi için önlemleri ve düzenleyici hükümleri içermiştir. Bu bağlamda halen kentlerimizde gerek yapıların gerek de şehir planlarının teknik ve sosyal açılardan yetersizliği açısından alansal veya bölgesel kentsel dönüşüm faaliyetlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kentlerimiz yaşamakta olduğu sosyal donatı ve teknik altyapı sorunlarını aynı anda çekmektedir. Bu alanlar kentin çeperlerinde gözüktüğü gibi ne yazık ki artık odak noktalarında da farklı şekillerde gözümüze çarpmaktadır. Böylesi alanların operasyonel bir tutumla ele alınarak nitelikli kent planlarının üretilmesi, sağlıklılaştırılması, yenilenmesi veya dönüştürülmesi gerekmektedir.

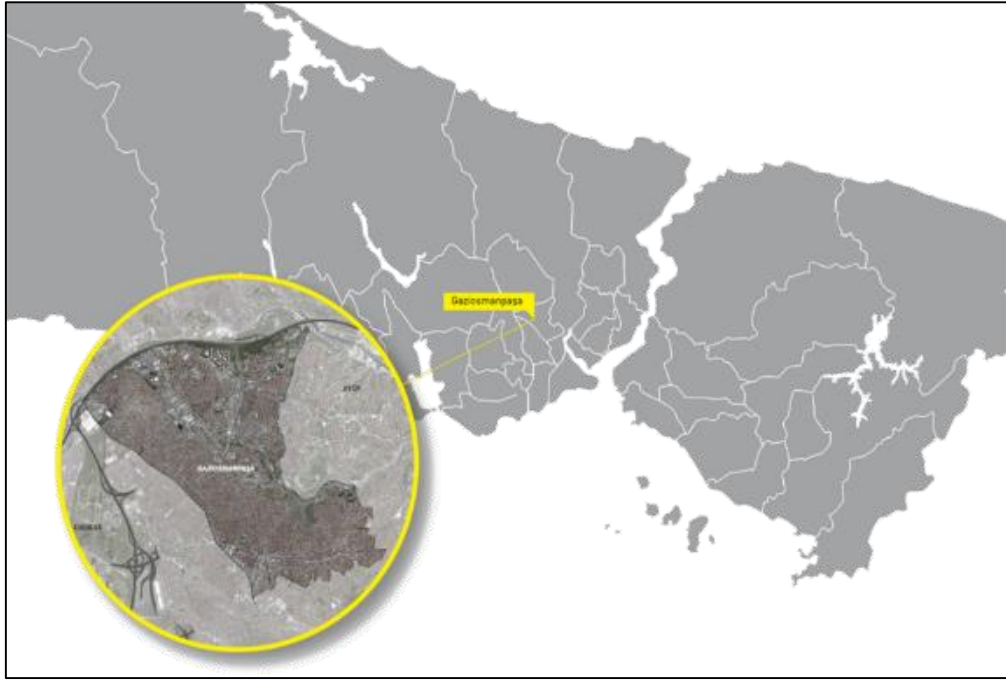
2. İSTANBUL, GAZİOSMANPAŞA KENTSEL DÖNÜŞÜM VE GELİŞİM PROJE ALANI

Gaziosmanpaşa, Türkiye'nin ve dünyanın en önemli kentlerinden olan İstanbul'un 39 ilçesinden biridir. İstanbul'un geç dönem yerleşimlerinden olan Gaziosmanpaşa'da başta Balkan ülkelerinden olmak üzere yurdun çeşitli bölgelerinden yapılan göçlerle yerleşim başlamış ve hızlı nüfus artışı yaşanmıştır.

Başlarda Balkanlardan gelen göçmenleri ağırlayan Gaziosmanpaşa İlçesi, 1990'lı yıllarda Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinden gelen göçmenleri de ağırlamaya başlamıştır. Gaziosmanpaşa ilçesi sınırları içerisinde yer alan Sarıgöl Mahallesi, Roman ve Erzurum kökenli vatandaşlarımız yoğunlukla ikamet etmektedir (Kılıç & Hardal, 2014).

Yenilenme olanağı bulamayan eski yerleşim yerleri ise bir nevi kaderine terk edilmektedir. Tüm yaşanan süreçler, sonunda “*köhne*” tabir edilen kentsel alanlar gündeme gelmektedir (Messer, 2007).

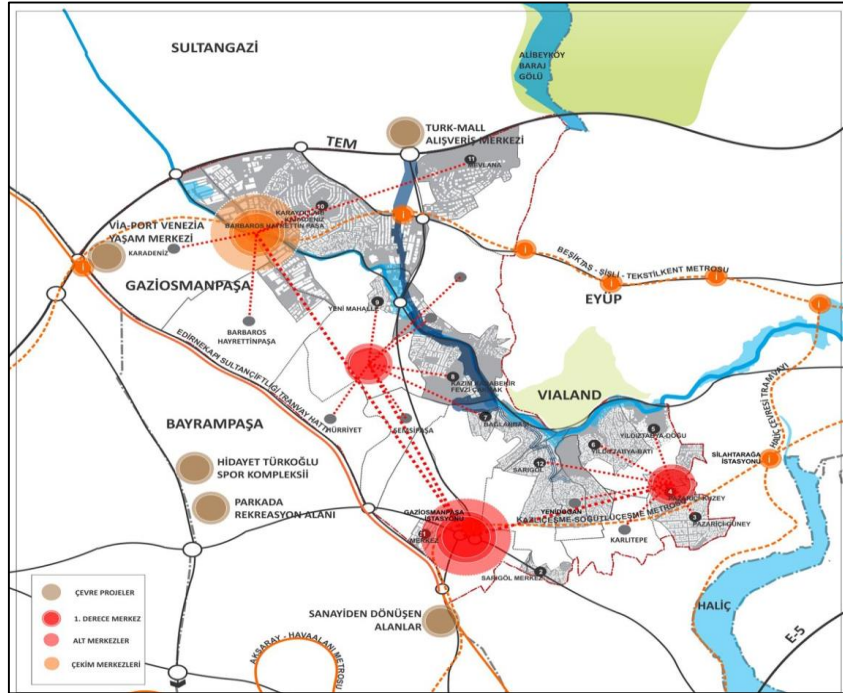
Gaziosmanpaşa İlçesi 1.173 ha yüzölçümüyle 531.300 ha büyüklüğündeki İstanbul İli yüz ölçümünün %0,22'lik kısmını oluşturmaktadır. Gaziosmanpaşa'nın nüfusu ise 2020 TÜİK verilerine göre 487.778 kişidir. İstanbul İlçelerinin yoğunlukları incelendiğinde, Gaziosmanpaşa'nın yüzölçümü bakımından İstanbul'un en küçük 7. İlçesi olmasına rağmen en yoğun ilçesidir.



Şekil 1. Alanın Konumu

İlçenin ana iskeletini ortaya çıkaran iki ana aks bulunmaktadır. Bunlardan biri Haliç'in bir kolu olan Alibeyköy Deresine bağlanan Gaziosmanpaşa Caddesinin oluşturduğu ana akstır.

Diğeri ise Ordu Caddesi ve Küçükköy Yolu Caddesidir. Bu iki cadde ilçenin ticaret koridorunu da oluşturmaktadır. İlçenin 1/100.000 ölçekli İstanbul Metropolitan Alan Çevre Düzeni plan kararları ve ilçe vizyonunda tarif edilen üst ölçek kimliğinin mekana yansımaları sonucu oluşan alt merkezler ve akslar strateji şemasında gösterilmiştir.

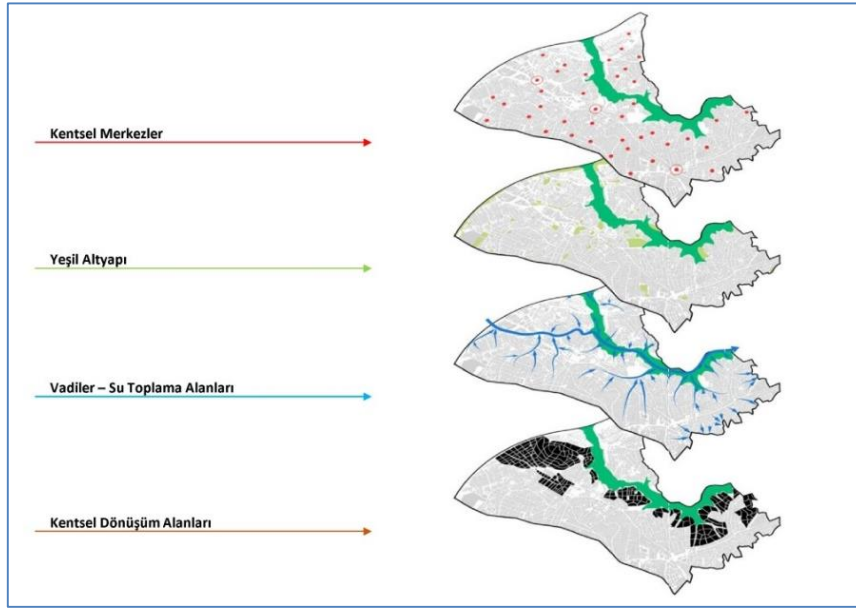


Şekil 2. Gaziosmanpaşa İlçesinin Mekansal Strateji Şeması

Günümüzde kentleşme sorunlarının başında gelen yasadışı yapılaşmış konut alanlarının ve işlevini yitirmiş, niteliksiz fiziksel mekânların yenilenmesine yönelik olarak kentsel dönüşüm süreci Gaziosmanpaşa’da ilk olarak 2009 yılında ilçenin 3 parçaya bölünmesinden önce ilk olarak 2006 yılında ortaya atılmış bir kavramdı. Ancak bu süreçte alanlar kentsel dönüşüm alanı olarak değil geçeköndü önleme bölgeleri olarak isimlendirilmekteydi.

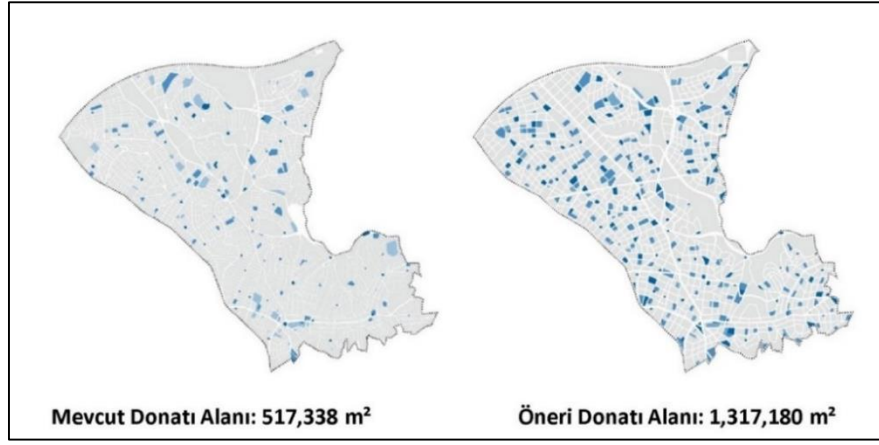
2011 yılında yaşanan Van depremi sonrasında yürürlüğe giren 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanları Dönüştürülmesi Hakkında” Kanun sonrasında tüm ülkede olduğu gibi Gaziosmanpaşa ilçesinde de resmi olarak kentsel dönüşüm süreci başlamıştır. İlçenin jeomorfolojik yapısı, mahalleler arası sosyal ve beşeri yapılarıdaki farklılıklardan ayrıca projenin daha etkin kullanılarak finansman kaynak yaratmaktaki olumsuzlukların üstesinden gelebilmek adına 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında” Kanun bu süreci takiben 24/12/2012 tarih 4099 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile 11 bölgede riskli alan ilan edilmiştir. Daha sonraki süreçte 13/06/2015 tarih 7601 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ve 13/06/2015 tarih 7602 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile 2 bölge daha riskli alan ilan edilerek toplamda 13 bölgede kentsel dönüşüm çalışmaları başlamıştır.

Bu bağlamda ilçeye ilişkin kent merkezleri, yeşil altyapı alanları, vadiler ve su toplama alanları göz önüne alınarak Kentsel Dönüşüm Alanları Master Planları hazırlanmıştır. Bu planlamada genel ilke mevcut değerleri göz önüne alarak planlama yapılmıştır.



Şekil 3. Kentsel Dönüşüm Alanları, Kentsel Merkezler, Yeşil Alanlar ve Mavi Alanlar Gösterimi

Dönüşüm stratejisi ile şehircilik ilke ve kararları, vatandaşlara rahat ve yaşanabilir imkanlar sunulabilmesi adına mevcutta 517.000 m² olan donatı alanları %250 artırılarak 1.317.000 m² yükseltilmesi hedeflenmiştir.



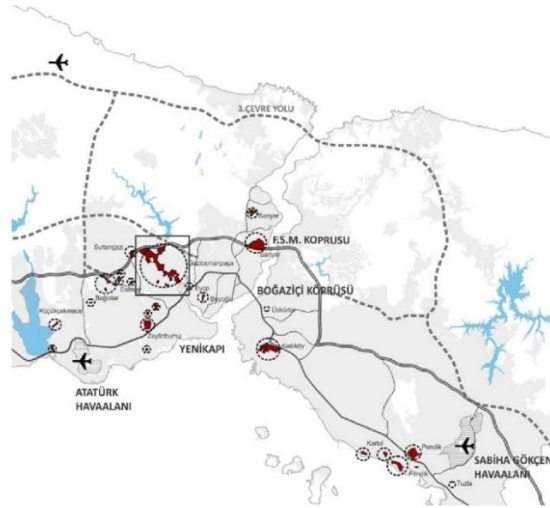
Şekil 4. Mevcut ve Öneri Donatı Alanları

İlçenin üst ölçek plan kararları, nazım ve uygulama plan kararları ile vizyon hedefleri doğrultusunda yaşanabilir güvenli ve teknik altyapı imkanları bakımından yeterli bir kent modeli ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda alanda bulunan riskli yapılar ortadan kaldırılırken yukarıda tüm detayları ve dayanaklarından bahsedilen etkin şehir altyapısının oluşturulması gerekmektedir (Üstün, 2008).

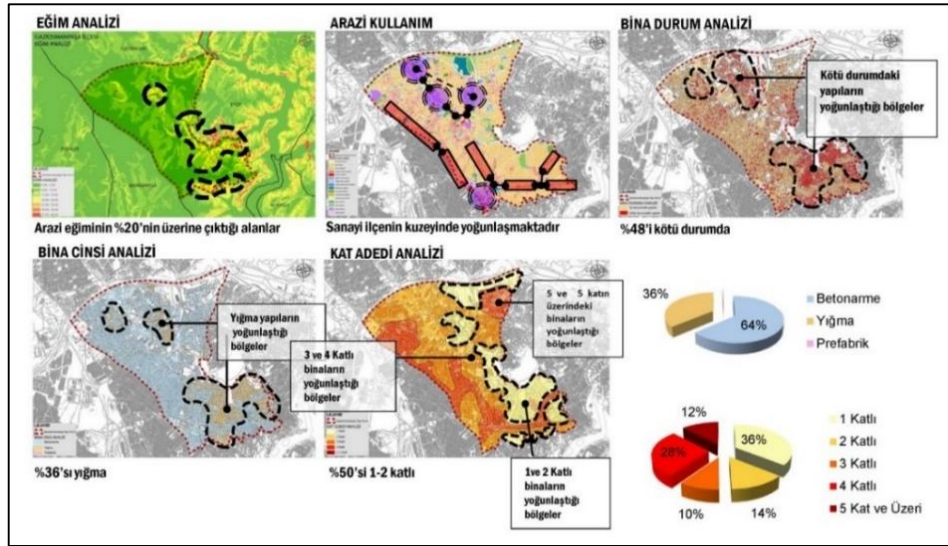
İlçenin jeomorfolojik yapısı, mahalleler arası sosyal ve beşeri yapılarıdaki farklılıklardan ayrıca projenin daha etkin kullanılarak finansman kaynak yaratmaktaki olumsuzlukların üstesinden gelebilmek adına 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında” Kanun kapsamında riskli alan ilanları yapılarak kentsel dönüşüm çalışmaları 13 etap halinde yürütülmüştür.



Şekil 5. Alanda İlan Edilen Riskli Alanlar



Şekil 6. Riskli Alanın Konumu



Şekil 7. Gaziosmanpaşa İlçesinin Kentsel Dönüşüm Proje Alanlarının Analitik Altyapısı ve Sentezi

1. İslah imar planları ile gelişmiş, sağlıklı ve ekonomik ömrünü yitirmiş konut alanlarının fazlalığı,
2. Nüfusun ihtiyacına cevap veremeyen, standartların altında kalmış donatı alanlarının olması,
3. Mevcut yoğunluğu taşıyamayan, en kesitleri yetersiz ulaşım akslarından dolayı yoğun yaşanan trafik sorununun varlığı,
4. Kullanım ömrünü doldurmuş, mevzuat ve yasalara uyulmadan gelişen, kötü durumdaki gecekonduların yoğunluğundan dolayı belediye ve kamu hizmetlerinin vatandaşlara artık ulaştırılamayacak noktaya gelmesi,
5. Deprem,
6. İlçe içerisinde yer alan sanayi alanlarının desantralizasyonunun gerekliliği sebebiyle kentsel dönüşüm çalışmaları başlamıştır.

3. İSTANBUL, SARIGÖL VE YENİDOĞAN MAHALLELERİ KENTSEL DÖNÜŞÜM VE GELİŞİM PROJE ALANI

Sarıgöl - Yenidoğan Mahallesi ilçe merkezine 5 dk uzaklıkta yer almaktadır. İstanbul - Gaaziosmanpaşa genellikle Roman nüfusunun yaşadığı bir mahalledir. Mahalle silüetini oluşturan yapılar genellikle 1-2 katlıdır ve gecekonduların sayısı oldukça yüksektir. Mahallenin kuruluşu 1950'li yıllara dayanmaktadır. Bulgar göçmenleri yokuşun aşağısında kalan tarla olarak adlandırılan alana yerleşmişlerdir. Adnan menderes döneminde Beyazıt'ta yaşayan Roman vatandaşların bir kısmı Sarıgöl Mahallesi'ne yerleştirilmiştir. Mahalle sakinlerinin burada yaşamaya başlamalarından itibaren en büyük sorunları mülkiyet sorunları olmuştur. Sarıgöl Mahallesi'nde bölgede yer alan 50 yıl önce inşa edilen birçok yapının günümüzde halen kullanıldığı görülmektedir. Yapıların inşa edildikleri 1960 - 1970 yılları arasında mühendislik hizmeti almadan yapıldıkları ve 50 yıldır kullanıldıkları düşünüldüğünde bu bölgedeki yapı stokunun durumu hakkında bir tahminde bulunmak mümkündür. Kentin arsa değerleri yüzeyleri değişir. Sadece bu değişimler bile gerçekleştirilmeyen rant potansiyelleri yaratarak kentin her noktasındaki dönüşme baskısını artıracak düzeydedir.

Alandaki yapılar incelendiğinde, mevcut bilgi birikimine uygun olmadan inşa edilen, çok küçük bir bölgede çok sayıda yapının ve insanın bulunması çarpık kentleşmeyi ve bunlara ek olarak da

çok sayıda sosyal problemi beraberinde getirmektedir. Mahalledeki konut türlerine bakıldığında; konutların %70'ini müstakil evler oluşturmaktadır (Kılıç, 2014; Hardal, 2014). Ayrıca bölgede yapılan incelemelerde eğitim, spor, kültürel faaliyetler, yeşil alan ve sosyal çalışmalar için ayrılmış herhangi bir alan ile karşılaşmamış, yapı yoğunluğunun çok yüksek olması nedeniyle kentsel dönüşüm çalışmalarının bu bölgeden başlatılması uygun görülmüştür. Ayrıca yapı stoku ve donatı alanlarının yetersizliğinin yanında alt yapının yetersiz olduğu da görülmüştür. İstanbul genelinde İstanbul Emniyet Müdürlüğünden alınan verilere göre suç oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenlerle bölgenin bir bütün olarak kentsel dönüşüm yasası kapsamında dönüştürülmesi zorunlu hale gelmiştir. Dolayısıyla bilinçsizce ya da Smith'in öne sürdüğü gibi bilinçli bir şekilde çöküntüye sürüklenen kentler, bir yenileme sorunuyla karşı karşıya kalmaktadırlar.

2009 yılında başlatılan Sarıgöl - Yenidoğan mahallelerindeki gecekondu dönüşüm projesiyle Gaziosmanpaşa Meydanı ve çevresinin Yönetim, Eğitim ve Kültür Merkezi olması sağlanarak bölgenin ticari, sosyal, ekonomik, eğitimsel ve kültürel yapısında dönüşümün yapılması ve gelişiminin arttırılması hedeflenmiştir. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi (TOKİ) tarafından da 2010 yılında Sarıgöl ve Yenidoğan mahalleleri "Gecekondu Önleme Bölgesi" ilan edilerek kentsel dönüşüm çalışmaları başlamıştır.

Ekim 2011'de gerçekleşen Van depreminden sonra, deprem bir kez daha ülkemizin acı gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Bu depremle birlikte 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında" Kanun yürürlüğe girmesiyle birlikte Sarıgöl - Yenidoğan Mahallesi riskli alan ilan edilmiştir.

Projenin hızlı ve etkin yürütülebilmesi amacı ile alanda saha ofisi kurulmuştur. Projenin başarısı saha ofislerinin çalışmalarına bağlıdır. Nitekim kentsel dönüşüm faaliyetlerinin en önemli yanı dönüşüm gerçekleşeceği yerde halka dokunmaktır. Ne kadar teknik mühendislik ve planlama çalışmaları iyi olsa da bu çalışmaların halka doğru ve anlaşılır bir biçimde anlatılması ve anlaşmaya varılması dönüşüm çalışmalarının gerçek ve en önemli basamağını oluşturmaktadır. Hak sahiplerinin tespit edilmesi, bilgi ve belge toplama maksatlı davet mektuplarının gönderilmesi, maliklerin bilgilendirilmesi, mülklerinin veya haklarının tasnif edilmesi, uzlaşma görüşmelerinin yapılması, ön protokollerin yapılması ve kesin protokollerin yapılması gibi işlemler proje kapsamında saha ofislerinde etkin olarak yürütülmüştür.

Kentsel dönüşüm sürecinde bölgenin riskli alan ilan edildiğine ilişkin bilgilendirme yazısı ile Tapu Müdürlüğü'nden alınan veriler doğrultusunda riskli alandaki mülkiyet sahipleri tespit edilmiştir. Bölge için sorumlu ekipler oluşturularak saha tespit çalışmaları, mülkiyet eşleştirmeleri yapılmakta, tespit edilen hak sahiplerine tebligat gönderilerek saha ofisinde görüşmeye davet edilmiştir. Bu görüşmelerle bilgi ve belge toplanması, hak sahipleri ile iletişimin geliştirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 8. Saha Çalışmaları

Etkin bir Kentsel Dönüşüm çalışmasının planlama, proje ve uygulama aşamaları her ne kadar etkin olur ise olsun en önemlisi; çalışma ekibi, saha ofisleri ve projenin vatandaşlarımıza anlatıldığı çalışmalardır. Bir kentsel dönüşüm projesinin halk tarafından benimsenerek kabul

edilmesi başarıyı getirecektir. Unutulmamalıdır ki kentsel dönüşüm projeleri kötü yapı stokuna dokunurken o bölgenin sosyal dokusuna da dokunmaktadır. (Gaziosmanpaşa Belediyesi, 2021)

Riskli alanların tespit edilmesi ve alan kullanımlarının belirlenmesi ile planlama çalışmaları uygulamaya geçilebilecek konuma gelmektedir. Üst ölçekli planlara göre ölçek 1/1000 Uygulama İmar Planlarına gelmiş burada yeni planlara ve öngörülen projeksiyona uygun kararlar getirilmiştir. Bu kararlar hem Kentsel Dönüşüm Projesinin uygulanabilirliği hem yeni projeksiyona uygunluğu açısından hesaplanmış ve buna göre kararlar getirilmiştir.

Hazırlanan İmar Planlarında saha ofislerinde yapılan görüşmeler ile tespit edilen vatandaş beklentileri planlara yansıtılmış bunun sonucunda alana ilişkin Kentsel Tasarım Projeleri ortaya konulmuştur. Alan üzerinde imar planı ve kentsel tasarım projesi çalışması yürütülürken ve yapılaşma değerleri tanımlanırken yapıların 6306 sayılı yasa kapsamında taşıdığı risk unsurları, Anayasanın 35. Maddesi ile tanımlanan mülkiyet hakkının korunması, yerinde dönüşüm, hak sahiplerine ek külfet oluşturmama, çarpık kent dokusunun iyileştirilmesi temel prensip olarak kabul edilmiştir. Kentsel tasarım esasları ile yapılan uygulamaların birbiri ile uyumlu ve bütüncül sürdürülebilir bir yaklaşımda olması sağlanmıştır. Bu çalışmada Gaziosmanpaşa İlçesi, Sarıgöl ve Yenidoğan Mahalleleri ile, bölgenin kültürel dokusunun korunması temelinde, güvenilir, sürdürülebilir ve yaşanabilir kentsel yerleşme dokusu oluşturmak hedefiyle nazım, uygulama ve tasarım ölçeklerinde çözüm çalışmaları yapılmıştır.

Yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında hak sahipleriyle uzlaşma görüşmelerinin ve anlaşmaların tamamlanması ile alandaki yapıların yıkımları gerçekleştirilerek inşaat faaliyetlerine geçilmiş, sonuç olarak 901 bağımsız birim yıkılarak 1534 bağımsız birim hak sahiplerine teslim edilmiştir.



Şekil 9. Sarıgöl Mahallesi Eski ve Yeni Hali

4. SONUÇ

Yapılan projede depreme dayanıklı, sağlıklı, temiz yaşam alanları, daha güvenli, daha konforlu, çevreye dost, enerji verimliliği yüksek, daha tasarruflu çözümler ortaya koyan bir bölge inşa edilmiştir. Bir deprem ülkesi olarak her an deprem geleceğini düşünerek ilçedeki konut stokunun yenilenmesi hedeflerinde Sarıgöl - Yenidoğan Mahallesi'ndeki kentsel dönüşüm projesinin 1. ve 2. Etapları tamamlanmıştır. Bütüncül bir planlama çalışması yapılarak; altyapı, ulaşım ve donatı

problemleri çözülmüş bir Gaziosmanpaşa için diğer kentsel dönüşüm projeleri devam etmektedir. Kentsel dönüşümde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bu süreci vatandaşla birlikte iş birliği ve karşılıklı istişare içinde yürütmek ve yerinde dönüşüm yapmaktır. İstanbul'un merkezinde ulaşım ağları, modern konutları sosyal alanları ile Gaziosmanpaşa ilçesi yerinde dönüşüm ile yepyeni bir şehir, bir cazibe merkezi olmaktadır.

Kentsel dönüşüm kapsamında 2014 - 2021 yılları arası üretilen / üretilcek daire durumu; 2014 - 2019 yılları arasında 8 adet kentsel dönüşüm projesinde; 4.176 adet konut üretilmiş, 2.133 adet konut (%51) hak sahiplerine teslim edilmiştir. 2019 - 2021 yılları arasında inşaatına başlanan 6 Adet kentsel dönüşüm projesinde; 3.532 konut üretilcek olup inşaat çalışmaları halen devam etmektedir. Bu projeler kapsamında 2.405 konut (%68) 2022 yılı itibari ile tamamı hak sahiplerine teslim edilecektir. 2022 yılı sonunda 14 adet kentsel dönüşüm projesinde; 7.708 konut üretilerek, 4.538 konut (%59) hak sahiplerine teslim edilecektir. 2021-2022 yılları arasında başlayacak olan 4 adet kentsel dönüşüm projesinde; 2.695 konut üretilerek, 2,252 konut (%84) hak sahiplerine teslim edilecektir. 2023 yılı itibari ile 2014-2023 yılları arasında toplam 18 kentsel dönüşüm projesinde; 10.403 konut üretilerek, 6.790 konut (%65) hak sahiplerine teslim edilmiş olacaktır.

Böylece İstanbul İli, Gaziosmanpaşa İlçesinde yukarıda değinilen birçok parametre göz önünde bulundurularak, vatandaşların yaşamaya alışık olduğu yerde, yapıların yenilendiği ve daha sağlıklı çevrelerin oluşturulduğu yerinde kentsel dönüşüm çalışmalarının tamamlanması hedeflenmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır. Bu çalışmada N. Enver ÜLGER fikir, eleştiri ve yorum konusunda katkı sağlamıştır. Mimar Hümeysra USTA KIRALI araştırma, veri toplama, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkıda bulunmuştur.

Destek ve Teşekkür

Yazarlar çalışma sırasında kaynak taraması ve arazi verilerinin teminindeki katkılarından dolayı Gaziosmanpaşa Belediye Başkanlığı'na teşekkürlerini sunar.

Çatışma Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Donnison, D. (1993). The challenge of urban regeneration for community development. *Community Development Journal*, 28, 293-298.

Gaziosmanpaşa Belediyesi. (2021). Gaziosmanpaşa Belediyesi Kentsel Dönüşüm ve Master Planı Çalışması. www.gaziosmanpasa.bel.tr adresinden 07 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.

Gökbulut, Ö. (1996). Kentsel yenilemenin değişen anlam ve boyutları. *Planlama Dergisi*, 14, 34-38.

- Kocabaş, A., (2006). Kentsel Dönüşüm (Yenileş(Tir)Me): İngiltere deneyimi ve Türkiye'deki beklentiler. *Literatür Yayınları*, İstanbul.
- Lichfield, D. (1992). Urban Regeneration for the 1990's. *London Planning Advisory Committee*, London.
- Messer, K.D. (2007). Transferable development rights programs: An economic framework for success. *Journal of Conservation Planning*, 3, 47-56.
- Roberts, P. (2000). The evolution, definition and purpose of urban regeneration urban regeneration handbook. *SAGE Publications*, London.
- Kılıç, T. & Hardal, S. (2014). Kentsel dönüşümün sosyal ve mekansal yansımalarına bir örnek: Sarıgöl Mahallesi (Gaziosmanpaşa-İstanbul), *Türk Coğrafya Dergisi*. 62, 1-7.
- Thomas, S. (2003). A glossary of regeneration and local economic development. *Local Economic Strategy Center*, Manchester.
- Üstün, G. (2008). *Kentsel Dönüşüm* [Doktora Tezi], Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. İstanbul.



Araştırma Makalesi / Research Article

İSTANBUL METROBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNDE KULLANILAN
OTOBÜS TİPİNİN İSTASYONLARDA BEKLEME SÜRELERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ*

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BUS TYPE USED IN ISTANBUL BRT PUBLIC
TRANSPORTATION SYSTEM ON DWELL TIMES AT STATIONS

Abdulhamit ÇETİN¹

Mustafa ILICALI²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfdb.981138>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
abhcetin@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
10.08.2021

Kabul Tarihi / Accepted
20.12.2021

Öz

Lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminde çığır açan BRT sistemi, raylı sistemlere göre proje ve uygulamada daha esnek ve daha ekonomik seçenekler sunmaktadır. Bu nedenle ulaşım otoritelerinin sisteme olan rağbetinin her geçen gün artmasına, diğer yandan yolculuk sürelerinin daha kısa, sefer sıklığının daha fazla olması da yolcuların ilgisine yol açmaktadır. Bu kadar yoğun talep gören sistemde, araç kuyruklarının oluşmasına ve yolcu kapasitesinin düşmesine sebep olan bekleme süreleri, farklı uzunluklardaki araçlar için incelenmiştir. Sefaköy ve Yenibosna arasında araçların yüksek hızlara ulaşması sonucu, Yenibosna istasyonunda 6,28 saniye araçların kuyrukta bekledikleri tespit edilmiştir. Farklı uzunluklardaki araçlar için yapılan test sonucuna göre istasyonlarda yolcu sirkülasyonunun daha hızlı olması için 18 m uzunluğundaki araçların yerine 20 m ve üzerinde yüksek yolcu kapasiteli araçların kullanılması gerektiği saptanmıştır. Metrobüs sisteminde araçların istasyonlarda bekleme sürelerinin azaltılması ile planlanan sefer aralıklarına uyum sağlanması, istasyonlarda araç kuyruklarının ve sonraki istasyonlarda yolcu birikmelerinin önlenmesi, sistemin itibarının ve yolcu memnuniyetinin artması beklenilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bekleme süresi, istasyon, metrobüs, otobüs kapısı, toplu taşıma.

Abstract

BRT system, offers more flexible and more economical options in project and application compared to rail systems. For this reason, the demand of transportation authorities for the system is increasing day by day, and on the other hand, the shorter travel times and the higher frequency of travel cause the interest of passengers. In such a high demanding system, dwell times for buses of different lengths, causing bus queues and reducing passenger capacity, were examined. According to the test result, it has been determined that buses with a high passenger capacity of 20 m and above should be used instead of buses with a length of 18 m in order to ensure faster passenger circulation. With the reduction of dwell times, it is expected to adapt to the planned headway frequencies, prevent vehicle queues and passenger accumulation at subsequent stations, and increase the reputation of BRT system and passenger satisfaction.

Keywords: BRT, bus door, dwell time, public transport, station.

*Bu yayın Abdulhamit ÇETİN 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, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. abhcetin@gmail.com, Orcid.org/0000-0003-4143-2718.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sütluçe, İstanbul, Türkiye. milicali@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-6453-7753.

1.GİRİŞ

Türkiye'nin en büyük şehirlerinden birisi olan İstanbul, tarihi yapısının yanında kültürel, sosyal ve ekonomik açıdan cazibe merkezi olarak varlığını sürdürmektedir. Türkiye'nin farklı şehirlerinden çalışmak amacıyla göç eden insanların barınma ihtiyaçlarının karşılanması için şehir doğuda Kocaeli, batıda Tekirdağ istikametinde sürekli genişlemektedir. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Marmara denizi nedeniyle sınırlanan şehirde ulaşım altyapısı, bilinçli planlamayı gerekli kılmaktadır. Sürekli genişleyen şehirde yaşayanların ve turistik amaçla şehri ziyaret eden misafirlerin ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması için hem merkezi yönetim hem de yerel yönetimler çözümler geliştirmektedir. İstanbul'da toplu taşıma hizmetleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) himayesinde İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir. İBB İstanbul'da trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ulaşımı sağlamak ve trafik kaynaklı ekonomik kayıpların azaltılması için hızlı otobüs taşımacılığı olarak bilinen ve dünyada giderek yaygınlaşan Metrobüs sistemini, 2006 yılında planlamış ve 2007 yılından itibaren 4 aşamada Beylikdüzü – Söğütlüçeşme güzergâhında hizmete almıştır. Metrobüs sisteminde, toplu taşıma otobüsleri ile diğer araçların yolu ayrı olması nedeniyle trafik yoğunluğu kaynaklı gecikmelerin önüne geçilerek trafikte geçen yolculuk süreleri kısalmıştır.

Artan yolcu talebi nedeniyle her geçen gün iyileştirme çalışmaları yapılan Metrobüs sisteminde zaman zaman aksaklıklar yaşanabilmektedir. Metrobüs hattında gidiş ve dönüş için tek şeridin olması, sollama şeridinin olmaması, istasyon içerisinde araç arızalanması, yolcu indirme ve bindirme esnasında oluşan bekleme sürelerinin sefer aralıklarından uzun olması gibi durumlarda uzun araç kuyruklarının oluşması kaçınılmaz olmaktadır.

Araçın kapı genişliği, kapı sayısı, koltuk sayısı, ayakta yolcu durma alanı, alçak tabanlı olup olmaması, kartlı veya nakit ödeme sisteminin araç içinde olup olmaması gibi parametreler yolcu iniş ve binış sürelerini etkilemektedir.

İstanbul Metrobüs saha gözlemlerinde, bu parametrelere ilave olarak özellikle yolcu yoğunluğu olan saatlerde, kapıların araç içine açılmasının veya dışarıya açılmasının da bekleme süresini etkilediği müşahade edilmiştir. Araç içerisinde yolcu yoğunluğu fazla olduğunda kapı kenarlarında bulunan yolcular, kapıların açılıp kapanmasına engel olabilmektedir. Kapılarda yolcu sıkışmasını önlemek için mevcut olan sistem devreye girerek kapıların kapanması gecikmektedir. İstanbul Metrobüs sistemindeki araçlarda “içe açılır” ve “dışa açılır” kapı tipleri kullanılmaktadır. Kapıların bu özelliği, araçların ve yolcuların duraklarda geçirdiği süreyi kısaltabilir veya uzatabilir.

Bu makalede kullanılmak üzere İstanbul Metrobüs hattındaki farklı uzunluğa sahip araçların sabah yoğun saatlerde Avcılar – Zincirlikuyu arası istasyonlarda bekleme süreleri, İETT'nin geliştirmiş olduğu bir programdan alınarak raporlanmıştır. Raporlama, akıllı ulaşım sistemlerinin gereği olarak araçlarda bulunan CAN-Bus sistemi ile elektronik kontrol üniteleri arasındaki sinyal iletişimi sayesinde oluşturulmuştur. Araçların hız, motor devri, soğutma su sıcaklığı, kapı açık-kapalı durumu, arıza uyarı ve konumu gibi bir çok özellikleri dijital ortamda online takip edilebilmektedir. Araştırma kapsamında Mercedes Conecto, Mercedes Capacity ve Phileas araçların yaptıkları kilometreye göre kapı arızaları, arkadan çarpma nedeniyle oluşan kazalar ile istasyonlar arası mesafeler, platform genişlikleri yolcu taşıma kapasitesi açısından incelenmiştir.

Araç bekleme süresi, yüksek frekanslı, yüksek yolculu toplu taşıma hatlarında yolcu kapasitesini ve hizmet kalitesini belirleyici önemli bir parametredir. Bekleme süresi, araç yolculuk süresini, belirli bir zaman içerisinde çalışması gereken araç sayısını ve hattın kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Sefer sıklığının değişmesi, araçlara binecek yolcu dağılımının düzensizliğine ve artan kalabalıktan dolayı yolcuların verilen hizmetten memnun olmamalarına yol açabilir. Yolcu

sayısının az olması, sefer aralığının yüksek olması ve ödemenin araç dışında olması durumunda istasyonda bekleme süresi önemli bir parametre olmayabilir ancak tam tersi durumda ödemenin araç dışında olması bile bekleme süresinin önemli hale getirebilir.

Bekleme süresi, istasyonlardan araçların geç ayrılması ve diğer istasyonlarda yolcu birikmesi nedeniyle sadece kapasiteyi değil tüm sistemi olumsuz etkileyebilecektir. Metrobüs sisteminde araçların istasyonlarda bekleme sürelerinin azaltılması ile planlanan sefer aralıklarına uyum sağlanması, istasyonlarda araç kuyruklarının ve sonraki istasyonlarda yolcu birikmelerin önlenmesi, sistemin itibarının ve yolcu memnuniyetinin artması beklenilmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Metrobüs toplu taşıma sisteminin kalitesinin artırılması ve karşılaşılan sorunlarla ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Literatür taramasında Metrobüs sisteminin ilk fikir olarak ortaya atılmasından sonra sistemden elde edilen başarı sonucu dünyaya yayılması, daha sonra istasyonlarda iniş biniş esnasında oluşan bekleme süreleri ve sistemde kullanılan platform özelliklerinin bekleme sürelerine etkileri ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir.

Son yıllarda çok gündeme gelen ve Türkiye’de Metrobüs ismiyle bilinen BRT sistemi, yeni bir sistem olmayıp 1930 yılından itibaren farklı BRT alternatifleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda 1937 senesinde Chicago, 1956 senesinde Washington, 1959 senesinde St. Louis ve 1970 senesinde Milwaukee için planlanmasına rağmen gerçek anlamda ilk olarak 1974 yılında Brezilya’nın Curitiba şehrinde hayata geçirilen ve ‘Rede Integrada de Transporte’ yani ‘Entegre Ulaşım Ağı’ olarak bilinen toplu ulaşım türüdür. Metrobüs sistemi, trafik tıkanıklığı ve kentsel yayılma konularına karşı mücadelede oldukça etkili olduğu görülünce birçok kentin ilgisini çekmeyi başarmıştır (Akı, 2012; Levinson ve ark., 2002).

Candem ve Tanyel, hızlı raylı sistemle ilgili bildirisinde raylı ulaşımlarda bekleme süresinin 15 ile 40 saniye arasında değişkenlik gösterdiğini, pik saatlerde yoğun istasyonlarda bu sürenin 45 saniyenin üzerine çıkabildiğini, güvenlik artırıcı ek süre olan operasyon sınır zamanının Metrolarda genellikle 15 -25 saniye kabul edildiğini belirtmiştir (Candemir & Tanyel, 2005).

Metrobüs işletimi bekleme süresinde meydana gelen değişiklikler bir domino etkisine neden olabilir ve hizmet güvenilirliğinde ve hattaki otobüs kapasitesinde azalmaya neden olabilir (Jaiswal ve ark., 2010).

El-Geneidy ve Vijayakumar, körüklü otobüslerin bekleme ve işletme sürelerine etkisini ele aldığı araştırmasında, Levinson ve ark. (2002) körüklü otobüslerin Metrobüs sisteminin bir parçası olarak kullanılmasını önerdiğini belirterek körüklü otobüslerin her durakta iniş biniş hızını artırabileceği gibi hatta ihtiyaç duyulan otobüs sayısını azaltabileceğini belirtmiştir (El-Geneidy & Vijayakumar, 2011; Levinson ve ark., 2002).

Kılıoğlu, Metrobüs sisteminde kapasite artışı ile ilgili yapmış olduğu tezinde, istasyonların ikili-üçlü grup kalkışlarına izin verdiğini ifade ederek duraklarda indi-bindi sürelerinin 2 katına artırılabilirliğini belirtmesinin yanında mevcut sistemde yoğunluktan dolayı iki kere aracın durmasıyla kayıp sürelerin arttığını belirtmiştir. Ayrıca ilk duraklarda yaşanan gecikmenin son durakta 9 dakikaya çıktığını tespit etmiştir (Kılıoğlu, 2010).

Deng ve Nelson (2011) Metrobüs ile ilgili dünyadaki son gelişmeleri ve Metrobüsün bölge gelişimine etkisini ele aldığı araştırmasında, hızla artan trafik sıklığı nedeniyle trafik sorunlarını azaltmak amacıyla ulaşım ile ilgili karar verenlerin, yüksek kapasiteli ve kaliteli farklı

ulaşım modlarına sevk ettiğini belirtmiştir. Yıllarca ulaşım iyileştirme seçeneği olarak raylı sistemlerin tercih edildiğini ancak yüksek yatırım maliyeti ve bütçe sınırı olan şehirlerin bu durumdan olumsuz etkilendiğini, dünya çapında birçok şehirde maliyet etkinliği dolayısıyla Metrobüsün raylı sistemin tamamlayıcı olarak görüldüğünü ifade etmiştir (Deng & Nelson, 2011). Yurdagül araştırmasında, yolculuk talebinin yoğun olduğu saat ve yönlerde araçların ilk istasyondan gecikmeli kalkmasının, ara istasyonlarda yoğunluğu ve iniş biniş süresini artırdığını, sistemin kapasitesini düşürdüğünü, araçların birbirlerini sollayamaması ve dolu kalkan araçların ara istasyonlarda beklemesi nedeniyle ileriki duraklara boş araç gönderilmesinin önemli bir rahatlama sağlayamadığını belirtmiştir (Yurdagül, 2012).

Pamuk (2017), Metrobüs istasyonlarındaki kameralar aracılığıyla her bir istasyonda 10 aracın ortalama bekleme sürelerini incelemiş ve bekleme sürelerini düşürmesi amacıyla yolcu davranışlarını da göz önünde bulundurmıştır. Duraklarda bekleme sürelerini azaltıp kapasite artışı sağlamak için 3'lü grup kalkışları, eşdeğer uzunluktaki araçların çalıştığı istasyonlarda uygun kılavuz çizgileri ile yolcu hareketlerinin düzenlenmesini önermiştir (Pamuk, 2017).

Önden, Doğan ve Eldemir (2019) Metrobüs istasyonlarının belirlenmesi ile ilgili araştırmasında Metrobüsün, metro yatırımlarına göre daha hızlı gerçekleştirilebilen ve lastik tekerlekli alternatiflerine göre yüksek kapasiteli taşıma hizmeti sunabilen bir taşıma türü olduğunu belirterek, istasyon seçimlerinde sadece uzman görüşüyle yenilmemesini, analitik etütlerin gerekliliğini ifade etmiştir (Önden ve ark., 2019).

3. TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ

Toplu taşıma, Türk Dil Kurumu tarafından “Bir şehir halkının ulaşım gereksiniminin, çok sayıda insan taşımaya elverişli büyük taşıma araçlarıyla karşılanmasını sağlayan ulaşım sistemi” olarak tanımlanmıştır (TDK, 2021).

3.1 Toplu Taşıma İhtiyacı

Şehirlerin gelişmesiyle birlikte günümüzde insanların evden başlayıp işe, okula, diğer yerlere olan veya ev uçu olmayan yolculuklarının karşılanması için şehirde yaşam kalitesini artıran ve yaşamı kolaylaştıran bir toplu taşıma sistemi zaruri bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Toplu taşıma sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda insanlar ihtiyaçlarını, bireysel araçlarla veya kendiliğinde ortaya çıkan ve disipline edilmekte zorlandığı bilinen dolmuşlarla (DPT, 2001; Saatçioğlu & Yaşarlar, 2012) karşılamak zorunda kalmaktadır. Bu durum daha sonra mevcut yolların kapasitesinin aşması ile hem trafik yoğunluklarına hem de çevresel gürültü/görüntü kirliliklerine yol açabilmektedir. Şehir içinde insanların hareketliliklerinin sağlanması için toplu taşıma sistemi olarak karayolu, demiryolu (raylı sistemler) ve denizyolu araçları kullanılmaktadır.

3.2 Toplu Taşıma Sistemleri

18. yüzyılda ulaşımın atlı arabalar ve kayıklarla sağlandığı İstanbul’da, dünyanın ilk tramvayı New York’ta (1842), dünyanın ilk metrosunun Londra’da (1863) hizmete girmesinin ardından 1869 yılında Eugene Henri Gavand adlı Fransız mühendisin Galata’dan Pera’ya dünyanın ikinci yeraltı demiryolunun yapılması için girişimde bulunması ve aynı yıl ilk atlı tramvayın Tophane - Ortaköy hattında çalışmaya başlaması ve sonrasında Dersaadet Tramvay Şirketinin (1871) kurulmasıyla toplu taşıma sisteminin temelleri atılmıştır. 1939 yılında Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmelerinin millileştirilmesi sonucu günümüzde toplu taşıma denilince akla ilk gelen isim olan İETT çatısı altında şirketler toplanmıştır. 1981 yılında ilk ekspres seferler, 1987 yılında ilk deniz otobüsü

seferleri ve 1988 yılında ilk Hafif Raylı Sistem seferleri ile toplu taşıma sistemi gelişmeye devam etmiştir (İETT, 2021).

Zamanla artan şehir nüfusu ve teknolojik gelişmelere göre toplu taşıma sistemlerinde kullanılan otobüsler, biletler, duraklar, yolcu bilgilendirme gibi birçok alanda değişiklikler görülmüştür.

İstanbul'da 2019 yılında 15,2 milyon civarındaki şehir içi toplu taşıma yolculuk sayısının, %19'u raylı sistemler, %77'si karayolu ulaşım sistemleri ve %4'ü denizyolu ulaşım sistemleri ile gerçekleşmiştir (İETT, 2019). En fazla yolculuk payına sahip olan karayolu ile yapılan günlük yolculukların %49'u minibüs ve servis araçları ile sağlanırken, %39'u otobüslerle, %12'si taksi ve taksi dolmuş araçları ile sağlanmıştır. Raylı sistemleri ile taşınan günlük yolculukların yaklaşık %60'ı metro ve hafif metro araçları ile gerçekleşmiştir. En az yolculuk payına sahip olan denizyolu araçları ile taşınan günlük yolculukların yaklaşık %40'ı özel tekne ve motorlarla yapılmıştır. Denizyolu ulaşımı için elverişli bir şehir olan ancak bu imkandan yeterince yararlanamayan İstanbul'da karayolundaki toplu taşıma yükünü ve şehir trafiğini azaltmak amacıyla denizyolu ulaşımının öncelik verilmesi gerekmektedir.

4. BRT SİSTEMLERİ

4.1 BRT Tanımlamalar

BRT sistemi, Sürdürülebilir Taşımacılık Merkezi (2006) tarafından hızlı, konforlu ve maliyet etkin bir ulaşım ve yolculuk imkanı sağlayan, sadece otobüslere ait şeritler ile raylı taşıma sisteminin performansını daha ucuz maliyetle gerçekleştirmeye çalışan bir toplu taşıma sistemi olarak tanımlanmıştır (Kılıoğlu, 2010).

Ülkemizde Metrobüs olarak bilinen BRT sistemi, yüksek hızlı otobüs taşımacılığı (HOT) (Önden ve ark., 2019) olarak da isimlendirilmektedir. Diğer ülkelerde ise BRT sistemi; yüksek kapasiteli otobüs sistemleri, yüksek kaliteli otobüs sistemleri, Metrobüs, hızlı otobüs sistemleri ve otobüs yolu sistemleri gibi farklı isimlerle bilinmektedir (Orhan, 2010).

Metrobüs sistemi, yer altı metro sistemlerinde olduğu gibi trafikten ayrılmış yalnızca kendine tahsisli özel bir hatta yüksek kapasiteli ve alçak tabanlı otobüsler ile sık sefer aralıklarıyla işletilen dakik, konforlu, hızlı, kaliteli ve maliyet – etkin bir toplu taşıma sistemidir. Sistemin özelliği metro gibi yüksek yolcu kapasitesini otobüs sisteminin esnekliği ve maliyet avantajlarıyla sağlamasıdır. Metrobüs sistemlerini diğer otobüs sistemlerinden veya raylı sistemlerden ayıran kendilerine has özellikleri mevcuttur (Cirit, 2014).

4.2 BRT Sisteminin Başlıca Elemanları ve Performans Kriterleri

BRT sisteminin kurulması esnasında başlıca 7 elemanı üzerinden değerlendirilmektedir. Bunlar; seyir yolları, istasyonlar, araçlar, servisler, hat yapısı, ücret toplama ve akıllı ulaşım sistemleridir (Deng & Nelson, 2011; Levinson ve ark., 2003).

BRT sisteminin değerlendirmesinde öne çıkan başlıca performans kriterleri olarak yolculuk süresi, güvenilirlik, güvenlik, sistemin kapasitesi ile kimlik ve imajı olarak 5 özellik dikkate alınmaktadır (Güven, 2008).

- Yolculuk süresi; yolculuğun başlangıç ve bitiş noktaları arasında bekleme, iniş biniş ve taşıt içinde hareket halindeyken geçen sürelerinin toplamını ifade etmektedir.

- **Güvenilirlik;** yolcuların sistem üzerinde meydana gelen olumsuzluklardan etkilenmeden tutarlı bir şekilde hizmetten yararlandırılması ve önceden planlanan ve bildirilen hizmetin sürekliliği olarak bilinen güvenilirlik, trafik koşulları, araç arızaları ve kazaları, hattın uzunluğu, durak sayısı, düzensiz yolcu dağılımı gibi unsurlardan etkilenir. Trafığın farklı özelliklerine bağlı olarak yolculuk süresinde görülen değişiklikler sonucu, ilk duraktan uzaklaştıkça ve durulan durak sayısı arttıkça güvenilirlik düşmesine karşı toplu taşıma işletmecileri hat uzunluklarını kısaltma ve entegrasyona uygun noktalarda aktarma imkânı sunarak yolcuların istedikleri yere ulaştırmaya çalışmaktadır (Ilıcalı ve ark., 2015).
- **Güvenlik;** yolcuların can güvenliğinin sağlanması ve BRT sisteminin korunması için muhtemel araç kazalarına ve potansiyel tehlikelere karşı gerekli tedbirlerin alınmasıdır.
- **Kapasite;** BRT sisteminde bir noktadan geçirilebilen maksimum toplu taşıma taşıtı veya maksimum yolcu sayısını ifade edilmektedir. Wright (2004), BRT sistemlerinde kapasitenin taşıt yolcu kapasitesine, taşıt sayısına, iki taşıt arasındaki süreye ve taşıt geçiş sıklığına, taşıt doluluk oranlarına, devir hızını artıracak teknolojilere, servis ve işletme yapısına, güvenlik, konfor ve uygun ücretlendirmelere göre değişmektedir (Deli, 2015).
- **Kimlik ve imaj;** marka kimliği (BRT sisteminin alternatif ulaşım tercihlerini ve diğer toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonunu içeren potansiyel kullanıcılara kullanım kolaylığı sunan ve cazip gelen bir özellik) ve çevresel tasarım (BRT sisteminin çevresindeki bölge ile uyumluluğu için etkin tasarımı öne çıkaran bir özellik) olarak iki elemanı bulunmaktadır (Güven, 2008).

4.3 Dünyadaki BRT Uygulamaları

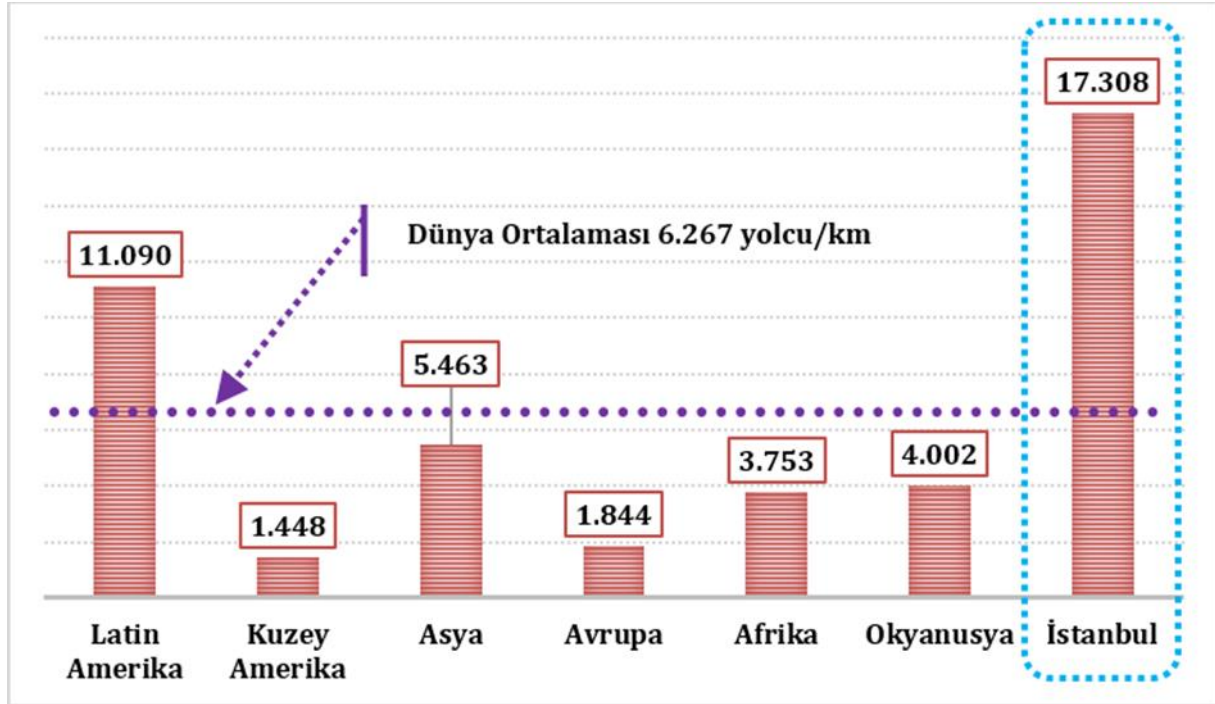
2000 yılına kadar sadece 32 şehirde bulunan Metrobüs sistemi, 2001 yılından itibaren toplam 145 şehirde daha uygulamaya konulmuştur. Günümüzde dünyada 43 ülkede, 177 şehirde, 409 koridorda toplam 5.376 kilometre uzunluğundaki Metrobüs hattı ile günlük 34 milyon civarında yolcu taşınmaktadır. Tablo 1’de kıtalara göre BRT bulunan şehir sayıları, koridor bilgileri ve günlük yolculuk bilgileri gösterilmektedir (BRT Data, 2021).

Tablo 1. Kıtalara Göre BRT Yolculuk Bilgileri

| Kıta | L. Amerika | K. Amerika | Asya | Avrupa | Afrika | Okyanusya |
|----------------------|------------|------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Ülke Sayısı | 13 | 2 | 12 | 10 | 3 | 3 |
| Şehir Sayısı | 57 | 21 | 45 | 44 | 5 | 5 |
| Koridor Sayısı | 186 | 49 | 99 | 58 | 8 | 9 |
| Uzunluk, km | 1.886 | 683 | 1.691 | 875 | 131 | 109 |
| Ort. Koridor, km | 10 | 14 | 17 | 15 | 16 | 12 |
| Günlük Yolcu Sayısı | 20.916.474 | 988.683 | 9.238.060 | 1.613.580 | 491.578 | 436.200 |
| Koridor Başına Yolcu | 112.454 | 20.177 | 93.314 | 27.820 | 61.447 | 48.467 |

Metrobüs sisteminin en yaygın kullanıldığı ve dünyadaki günlük taşınan yolcu sayısının %62’sine hizmet veren Latin Amerika ülkelerindeki 57 şehirdeki koridor uzunluğu ortalama 10 km’dir. Diğer kıta ülkelerine göre Latin Amerika kıtası, en düşük ortalama koridor uzunluğu sahiptir. Latin Amerika kıtasına benzer şekilde, Avrupa’daki günlük yolculukların yaklaşık %60’ı kıtada bulunan

ve 52 km koridor uzunluğuna sahip İstanbul'da gerçekleşmektedir. Kıtalara göre BRT ile kilometre başına taşınan yolcu sayısı grafikte verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. BRT İle Kilometre Başına Taşınan Günlük Yolcu Sayısı

Dünyada BRT ile kilometre başına ortalama 6.267 kişi yolculuk yaparken İstanbul'da ise dünya ortalamasının 3 katı yolculuk gerçekleşmektedir. BRT sisteminin uzun koridorlar yerine ortalama 10 km uzunluk ile şehrin her yerine hitap eden Latin Amerika uygulamasında olduğu gibi İstanbul'da da kısa kilometreli koridorların yaygınlaştırılması ile günlük yolculukların artması, kilometre başına taşınan yolcu sayısının dünya ortalamasına yaklaşması ile konforlu yolculuğun sağlanması ve yolcu memnuniyetinin artması öngörülmektedir.

4.4 Metrobüs Sistemi İstanbul

4.4.1 Hat bilgileri

Metrobüs projesi, İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla 2006 yılında Beylikdüzü – Söğütlüçeşme güzergâhında 4 etapta yapılması planlanmış, ilk etabı Topkapı – Avcılar hattı (18,3km) 2007 yılında, son etap Avcılar – Beylikdüzü hattı (10 km) 2012 yılında hizmete açılmıştır. Böylece Beylikdüzü- Söğütlüçeşme arası yolculuk süresini 83 dakikaya indiren hattın uzunluğu toplam 52 km'ye ulaşmıştır (İETT, 2012).

Metrobüs araçları, Beylikdüzü ve Zincirlikuyu ile 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ve Söğütlüçeşme istasyonlarında kendi özel yolunda giderken, 15 Temmuz Şehitler Köprüsünde diğer araçlarla aynı yolu kullanmaktadır.

4.4.2 İstasyon ve platform bilgileri

Metrobüs hattında ortalama 1,18 km aralıklarda 44 istasyon bulunmakta olup en kısa mesafe 0,4 km ile Okmeydanı Hastane ve Çağlayan arası iken en uzun mesafe 4,2 km ile Metrobüs özel yolundan çıkıp karışık trafikteki Zincirlikuyu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü istasyonları arasındadır. Sefaköy – Yenibosna arası, 3,5 km ile Metrobüs özel yolundaki en uzun mesafedir.

Metrobüs istasyonlarında yolcular, platform seviyesindeki alçak tabanlı araçlara binmek ve araçlardan inmek için genelde aynı platformu müşterek kullanmaktadır. Fiziki olarak ayrı yerlerde bulunan sadece Zincirlikuyu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü istasyonlarında inen ve binen yolcular aynı platformu kullanmamaktadır. İniş platformu olan istasyonlardan Yenibosna, Cevizlibağ, Bayrampaşa ve Okmeydanı Hastane istasyonlarında tek yönlü olarak kullanılmaktadır. Metrobüs araçlarının en çok kuyrukta bekleme yaptığı Yenibosna istasyonu (Şekil 2), indirme platformu olmasına rağmen 3,3 metre genişliği ve yolcu geçiş alanlarının çok dar olması nedeniyle yolcu sirkülasyonu yavaş gerçekleşmektedir.



Şekil 2. Yenibosna İstasyonu

Yolcu indirme ve bindirme platformu ile hatta tek sollama şeridine sahip olan Cevizlibağ istasyonu (Şekil 3), yaklaşık 300 metre uzunluğu ile en uzun platformdur.



Şekil 3. Cevizlibağ İstasyonu

Yolcu kullanım oranı en yüksek olan ve iki farklı giriş noktası bulunan Mecidiyeköy istasyonunun platform çatısı tamamen kapalı olup hatta 8,5 metre genişliği ile en geniş platformdur (Şekil 4).



Şekil 4. Mecidiyeköy İstasyonu

4.4.3 İşletme bilgileri

Metrobüs kullanan yolcuların, tüm kapılardan araçlara binmesi ve araçlardan inmesi mümkündür. Ödemeler, araç içinde değil istasyon girişlerinde alınmaktadır. Gidilen mesafeye göre iadeler istasyon dışındaki cihazlarla sağlanmaktadır.

Metrobüs seferleri, yoğun saatlerde 15 – 20 saniye, yoğun olmayan ara saatlerde 45 – 60 saniye, gece ise 30 dakika aralıklarla gerçekleştirilmektedir. 40 km/saat ticari hızı ile Dünya'daki en hızlı Metrobüs sistemi olan hatta 535 araç ve 1.184 şoför ile 24 saat hizmet verilmektedir (İETT, 2020a). Akıllı ulaşım sistemleri ile bilgisayar kontrollü kullanılan raylı sistemlerde minimum sefer aralığı 90 saniye iken (Baştürk, 2014), insan faktörünün etkin olduğu Metrobüs sisteminde 6 kat daha kısa sefer aralığı ile çalışmak oldukça iddialı görünmektedir.

Metrobüs şoförleri, her sefer sonunda son istasyonlarda araçlardan inerek aracı diğer Metrobüs şoförüne teslim etmektedir. Bu şekilde araçlar bekletilmeden çalışmaya devam ettirilmekte ve şoför personel dinlendirilmektedir. Metrobüs hattı, Edirnekapı Garajında bulunan filo yönetim merkezi aracılığıyla arıza – kaza yönetimi, yolcu bilgilendirme, istasyonlarda bulunan asansör, yürüyen merdiven gibi ekipmanların anlık kameralar ve SCADA sistemi ile takibi yapılarak sürekli açık ve faal tutulmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Metrobüs Filo Yönetim Merkezi

4.4.4 Entegrasyon bilgileri

Metrobüs hattı, 9 farklı hatta giden raylı sistemlerle 14 istasyonda entegre olarak hizmet vermektedir (Şekil 6).

| Sirkeci-Halkalı | Aksaray-Havalimam | Bağcılar-Kabataş | S.çiftliği-Edirnekapı | Yenikapı-H.osman | Mecidiyeköy-Mahmutbey | Üsküdar-Çekmeköy | Kartal-Kadıköy | Haydarpaşa-Gebze |
|-----------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|----------------|------------------|
| K.çekmece | Yenibosna | Z.burnu | Edirnekapı | Mecidiyeköy | Mecidiyeköy | Altunizade | Uzunçayır | S.çeşme |
| | Şirinevler | Cevizlibağ | | Z.kuyu | Çağlayan | | | |
| | İncirli | | | | | | | |
| | Z.burnu | | | | | | | |
| | Merter | | | | | | | |

Şekil 6. Metrobüs-Raylı Sistemler Entegrasyonu

4.4.5 Metrobüs araç bilgileri

Türkiye'nin sadece İstanbul şehrinde kullanılan ve Metrobüs olarak bilinen toplu taşıma sisteminde Mercedes Conecto (Şekil 7), Mercedes Capacity (Şekil 8) ve APTS Phileas (Şekil 9) olarak üç tip araç kullanılmaktadır. Dönüş çapı, tek körüklü Mercedes araçlarda 22,8 metre, çift körüklü Phileas araçlarda ise 25 metredir. Mercedes araçlar dizel, Phileas araçlar ise paralel hibrit (dizel + elektrik) güç kaynağı ile çalışmaktadır. Motorların en arka akslarda konumlandırıldığı araçların tahrik aksları, Conecto ve Capacity araçlarda çift lastikli 3. Akslar, Phileas araçlarda ise tek lastikli 4. Akslardır. Capacity araçların 4. Aksı, ilave direksiyon aksı olarak isimlendirilmiştir. Phileas araçların ön aks haricindeki arka aksları, direksiyon dönüş yönü ve aracın hızına göre dönebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 7. Mercedes Conecto



Şekil 8. Mercedes Capacity



Şekil 9. APTS Phileas

Mercedes Conecto ve Mercedes Capacity model araçların sağ tarafta içe açılır 4 adet, APTS Phileas model araçların ise her iki yanında olmak üzere dışa açılır toplam 8 adet yolcu kapısı bulunmaktadır. Metrobüs araçlarının hepsi alçak tabanlı olup yolcu girişlerinde basamak bulunmamaktadır. Metrobüs sisteminde çalışan araç tipleri ve bazı özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Metrobüs Araç Teknik Bilgileri

| | Mercedes Conecto | Mercedes Capacity | APTS Phileas |
|------------------------------|--------------------------------|--|--|
| Uzunluk, mm | 17.940 | 19.540 | 26.035 |
| Genişlik, mm | 2.550 | 2.550 | 2550 |
| Yükseklik, mm | 3.076 | 3.155 | 3.200 |
| İç yükseklik, mm | 2.032 | 2313 | 2.250 |
| Ön/Arka uzantı, mm | 2.705/3.400 | 2.705/3.400 | 1190/1995 |
| Dingil aralığı, mm | 1-2 Aks 5845 2-3 Aks 5990 | 1-2 Aks 5845 2-3 Aks 5990 3-4 Aks 1600 | 1-2 Aks 7700 2-3 Aks 7510 3-4 Aks 7575 |
| Dönüş çapı, mm | 22.822 | 22.852 | 22.400 |
| Kapı genişliği, mm | 1.250 | 1.250 | 1.350 |
| Kapı sayısı, adet | Sağ yanda, 4 | Sağ yanda, 4 | Sağ ve sol yanda, 8 |
| Motor | M. Benz OM 457 LA, Euro 4,5 | M. Benz OM 457 LA, Euro 4,5 | Cummins ISLE4 340B, Euro4 |
| Azami güç, kW | 260 | 260 | 253 |
| Motor hacmi, cm ³ | 11.967 | 11.967 | 8.900 |
| Azami tork, Nm | 1.600, 1.100 d/d | 1.600, 1.100 d/d | 1425, 1.300 d/d |
| Şanzıman | ZF Eco.2 Plus6HP602C | ZF Eco.2 Plus6HP602C | GM Allison Ev50 |
| Yönlendirilebilen aks | - | 4. aks | 2, 3 ve 4.aks elektrohidrolik |
| Lastik ölçüsü | 275/70R22,5 arkalar 2'li | 275/70R22,5 ortalar 2'li | Ön 275/70R22,5 Arkalar 385/65R22,5 |
| Lastik sayısı, adet | 10 | 12 | 8 |
| Yakıt/AdBlue deposu, lt | 300/46 | 300/46 | 250/28 |
| Koltuk sayısı, kişi | 42 | 43 | 52 |
| Ayakta yolcu, kişi | 108 | 150 | 178 |
| Toplam yolcu, kişi | 149 | 193 | 230 |
| Boş/Azami ağırlık, kg | 15.000/28.000 | 18.000/32.000 | 21.600/37.350 |

4.4.6 Yolcu kapıları

Toplu taşıma sisteminde yolcuların araçlara binmeleri ve araçlardan inmeleri için araçların yan kısımlarında bulunan, araç iç kısmının dışarı ile bağlantısını sağlayan, araç ve yolcu güvenliğinde çok önemli bir yere sahip olan kapılar kullanılmaktadır.

4.4.6.1 İçe açılır kapılar (*Inward swing doors*)

Toplu taşıma sisteminde otobüslerde yaygın olarak kullanılan ve içe doğru kayma hareketini basınçlı hava veya elektrik motoru ile sağlayan tek ya da çift kanatlı bir kapı çeşididir (Şekil 10).



Şekil 10. İçe Açılır Kapı Tipi

Bu tip kapılar, daha çok karışık trafikte seyreden, yolcuların ön kapıdan bindiği ve diğer kapılardan indiği geleneksel toplu taşıma araçlarında görülmektedir. Araç içi yolcu yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda içe açılır kapıların çalışma alanında kalan yolcuların, kapı kanadının açılıp kapanmasına engel olması sonucu aracın hareket etmesi gecikebilmektedir.

4.4.6.2 Dışa açılır kapı sistemi (*Plug Sliding Door*)

Bu kapılar, kapı kanatlarının aks mili üzerinde yatay kayması ile açılma ve kapanma işleminin sağlandığı bir kapı çeşididir. Bu tip kapılar, iç alanı artırır ve yolcuların araca hızlı bir şekilde binip inmesini sağlar. Kapı aracın yan tarafına yakın hareket eder, böylece hem içerideki yolcular hem de dışarıda bekleyenler araca kolayca girip çıkabilecekleri yeterli alana sahip olur. Kullanıldığı ortamda geniş giriş - çıkış mesafesi sağlanmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Dışa Açılır Kapı Tipi

Ödemenin istasyona girişte yapıldığı yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip raylı sistem araçlarında yolcu sirkülasyonunu kolaylaştırmak amacıyla aracın yan tarafına doğru kayarak açılan buna benzer kapıların tercih edildiği görülmektedir (Şekil 12).

Metrobüs sisteminde çalışan araçlar da tıpkı raylı sistem araçları gibi kendi özel yolunda ödemenin istasyon girişinde yapılması ile tüm kapılardan yolcuların araçlara binmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle Metrobüs araçlarında iniş biniş esnasında yolcu sirkülasyonunu hızlandırmak amacıyla dışa açılır kapılar tercih edilebilir.



Şekil 12. Raylı Sistem Araç Kapı Tipi

4.4.6.3 Yolcu kapı arızaları

Toplu taşıma sisteminin gereği olarak yolcuların araca binerken ve inerken kapılar, yolcu talebine göre sürekli açılıp kapatılmaktadır. Çok sık kullanılan yolcu kapılarında dayanıklı yedek parçanın tercih edilmesi önemlidir. 2019 yılında meydana gelen kapı arıza sayıları, İETT'nin Arıza Takip Sistemi adlı programından raporlanmış ve aynı yıl yapılan kilometreye göre içe açılır kapılar 9.244 km'de bir, dışa açılır kapılar ise 12.818 km'de bir arızalanmıştır.

İçe doğru açılan kapılar, açılma ve kapanma esnasında süpürme alanında kalan yolcuyla temas esnasında güvenlik açısından görevini tamamlayamamaktadır. Yolcu yoğunluğu olduğunda bu tür engellemeler çok sık görülmekte olup kapı mekanizmalarının zorlanmasına ve arızalanmasına yol açmaktadır. Dışa açılan kapılar, aracın dış gövdesine yakın kayma hareketi ile açılıp kapandığından sağ ve sol kapı kanatları arasına yolcu sıkışması haricinde engelleme bulunmamaktadır.

4.4.6.4 Metrobüs kaza verileri

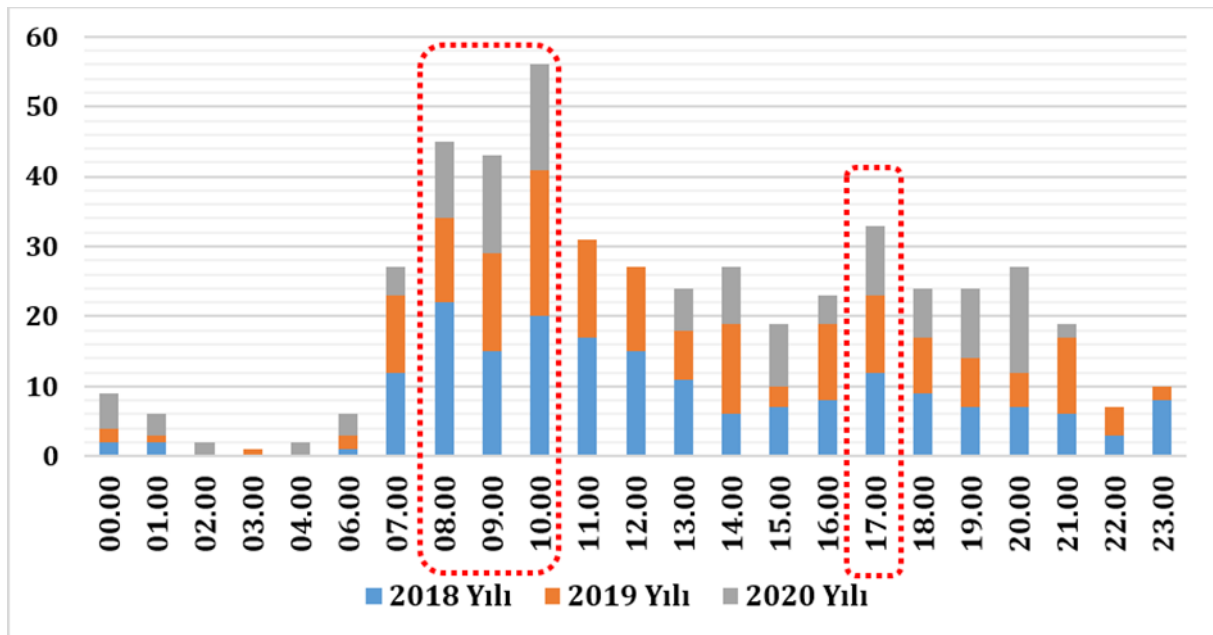
İnsanın fiziki özellikleri arasında bulunan görme özelliği, trafik güvenliği ile ilişkilidir. Görme özelliğinin bir göstergesi olarak yolda seyreden bir sürücünün veya yayanın tehlikeli bir durumu/engeli gördükten sonra ne yapacağına karar verip uygulaması için intikal reaksiyon süresine ihtiyaç duyulur. Karar verip uygulamaya kadar geçen intikal reaksiyon süresi, kişinin yaş, moral, uyku, stres gibi durumlarına göre herkes için farklı olabilir. Bu nedenle aracın engele çarpmadan frenleme ve taşıt takip mesafelerinin dikkate alınması kazaların oluşmasını önleyebilir. Birbirini izleyen iki taşıttan öndeki taşıtın sürücüsü, yol üzerinde ani olarak fark ettiği bir engele çarpmamak için sert şekilde fren yaptığında, arkadaki taşıtın öndeki taşıta çarpmaması için arada bulunması gereken en az mesafe, arkadaki taşıt sürücüsünün intikal-reaksiyon süresi içinde kat ettiği mesafe kadar olmalıdır. Ancak, uygulamada fren güçlerinin ve sürücülerin frene basma derecelerinin farklı olabileceği, arkadaki sürücünün herhangi bir sebeple öndeki taşıtın fren lambasının yanmasını fark etmede bir miktar gecikebileceği gibi hususlar söz konusu olabilecektir.

Bu nedenle takip aralığında daha uzun bir mesafenin dikkate alınması güvenlik açısından uygun kabul edilir.

Metrobüs şoförünün sürüş ve yol güvenliği açısından belirli kurallara uyması ve önündeki aracın durumuna göre sürüşünü ayarlamak zorundadır. Metrobüs koridorunda sollama imkanı olmadığı için takip mesafesine ve uyarılara uymak, kazaların önlenmesi ve yolcu güvenliği açısından oldukça önemlidir. Takip mesafesi ve uyarılara uyulmadığında sistem tıkanarak arkadan gelen araçların uzun kuyruk oluşturması söz konusudur.

İETT'nin Arıza Takip Programından elde edilen verilere göre 2018 ve 2019 yıllarında ortalama 2 günde 1, 2020 yılında ise ortalama 3 günde 1 arkadan çarpma şeklinde kaza meydana gelmiştir. 2020 yılı Mart ayından itibaren görülen koronavirüs pandemisi nedeniyle sokağa çıkma kısıtlaması uygulanmaya başlanmış ve başta okullar olmak üzere birçok işyeri kapatılmıştır. Bu durumdan doğal olarak toplu taşıma sektörü de etkilenmiş, yolcu sayılarının azalması nedeniyle sefer planlamaları seyreltilmek zorunda kalmıştır (İETT, 2020c, 2020d).

Söz konusu pandemi sonucu İstanbul Metrobüs sefer aralıkları, ortalama 22 – 38 saniye olarak güncellenmiş olup Metrobüs araçlarının birbirleri ile olan kazalarının önceki yıllara göre azalmasını sağlamıştır. Metrobüs kazalarının meydana geldiği zaman dilimleri grafikte gösterilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Metrobüs Kazalarının Meydana Geldiği Saat Aralıkları

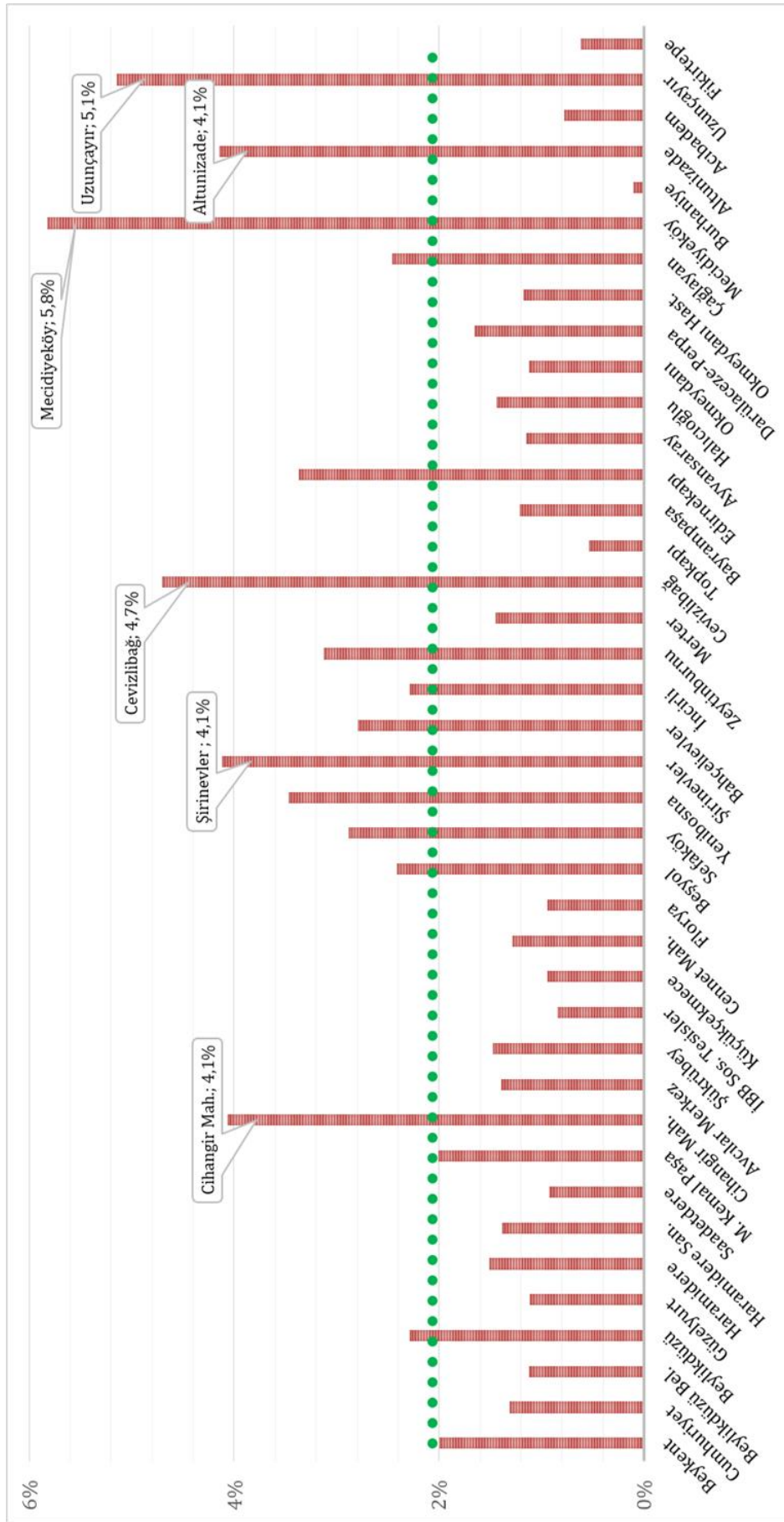
Grafiğe göre kazaların daha çok sabah 08.00 – 11.00 ve akşam 17.00 – 18.00 saatleri arasında sefer aralıklarının 15 – 20 saniye olduğu yoğun saatlerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

4.4.7 Yolcu sayıları

Metrobüs hattında virüs salgını öncesinde 965.110 yolcunun taşındığı 03.03.2020 tarihli yolculuk verilerine göre maksimum yolculuk yaklaşık 51.000 kişi/saat, yön ile, sabah 08.00 – 09.00 arası Söğütlüçeşme ve akşam 18.00 – 19.00 arası Beylikdüzü istikametinde gerçekleşmiştir. Bu tarihte istasyonlarda binen ve inen yolcular tarafından günlük kullanım oranı ortalama %2 olarak ölçülmüştür. Başlangıç ve bitiş istasyonları ile platformları ayrı olan istasyonlar dışında günlük

olarak en fazla yolcunun kullandığı ara istasyonlardan Mecidiyeköy %5,8 ile ilk sırada yer alırken Uzunçayır %5,1, Cevizlibağ %4,7, Cihangir, Şirinevler ve Altunizade %4,1 kullanım oranına sahiptir. Şekil 14'deki grafikte kullanım yüzdeleri verilmiştir.

İlk olarak Çin'in Vuhan Eyaleti'nde Aralık 2019 tarihinde solunum yolu enfeksiyonu yaptığı tespit edilen ve ülkemizde de Mart 2020 tarihinde görülen "Yeni Koronavirüs" (COVID-19) pandemisi (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020) nedeniyle sokağa çıkma kısıtlaması öncesinde 44 istasyonlu Beylikdüzü – Söğütluçeşme Metrobüs hattında 535 araçla günlük ortalama 900.000 civarında yolcu taşınmıştır. Bu pandemi sonrasında ise günlük yolculuk sayısı 117.703 kişiye kadar gerilemiştir (İETT, 2020b).

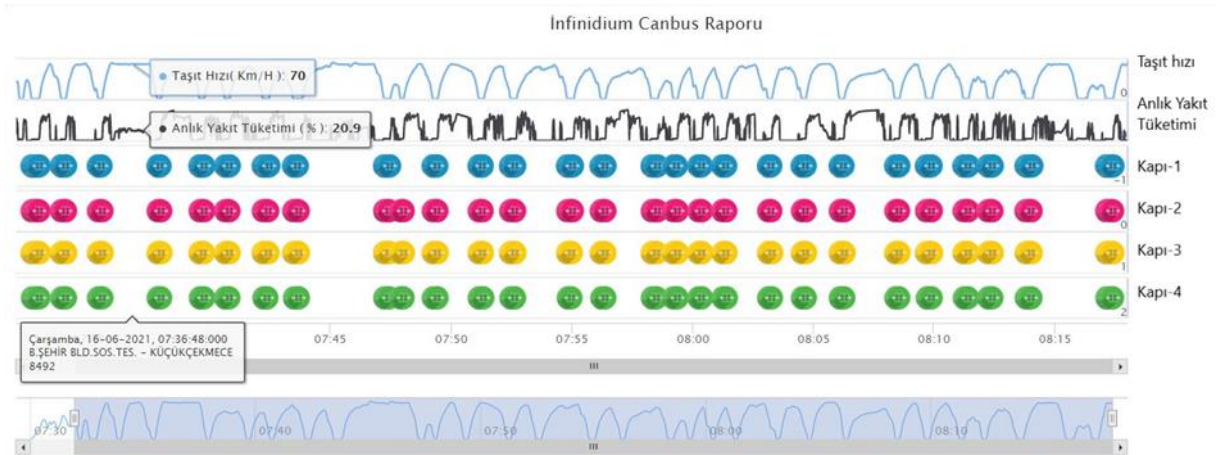


Şekil 14. Metrobüs İstasyonları Günlük Yolculuk Kullanım Oranları

5. METROBÜS BEKLEME SÜRELERİ

5.1 Toplu Taşıma Telemetri Cihazı

Metrobüs hattında çalışan araçların CAN-Bus sisteminden alınan sinyallerle araçların motor devirleri, hızları, fren pedal pozisyonu, kapıların açılıp kapatılma durumları ve konumları gibi birçok verisi anlık olarak İETT toplu taşıma araçlarında kullanılmak üzere İnfinidium Teknoloji firması tarafından geliştirilen telemetri cihazı ile takip edilip kayıt edilmektedir. Karakutu olarak da isimlendirilen bu cihaz sayesinde bir kaza olduğunda veya araçta büyük bir arıza olduğunda bu cihazda kayıtlı bilgiler incelenerek raporlamalara destek olunmaktadır (İETT, 2015). Şekil 15’te belirli bir zaman aralığında M4656 nolu araca ait taşıt hızı, anlık yakıt tüketimi, kapı açık – kapalı durumu ve konum bilgileri örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 15. M4656 Nolu Mercedes Conecto Araca Ait CAN-Bus Rapor Grafiği

5.2 Bekleme Süresi

Avcılar – Zincirlikuyu arasında sabah yoğun olan 07.00 – 09.00 saat aralığında çalışan Mercedes Conecto, Mercedes Capacity ve APTS Phileas marka araçların aynı istasyonda kapılarının açık kalma süresi ile yolcu indirme ve bindirme süreleri dahil toplam bekleme süreleri, “INFINIDIUMGO” adlı Metrobüs yazılım programından raporlanmıştır. İncelenmek üzere seçilen kriterlerin her bir saniye için detayları, Şekil 16’da gösterildiği gibi listelenmiştir.

| İşlem Zamanı | Adres | Hız (Km/H) | Kapı 1 | Kapı 2 | Kapı 3 | Kapı4 |
|---------------------|-----------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| 16.06.2021 08:01:50 | YENİBOSNA | 13 | KAPALI | KAPALI | KAPALI | KAPALI |
| 16.06.2021 08:01:51 | YENİBOSNA | 8 | KAPALI | KAPALI | KAPALI | KAPALI |
| 16.06.2021 08:01:52 | YENİBOSNA | 4 | KAPALI | KAPALI | KAPALI | KAPALI |
| 16.06.2021 08:01:53 | YENİBOSNA | 0 | KAPALI | KAPALI | KAPALI | KAPALI |
| 16.06.2021 08:01:54 | YENİBOSNA | 0 | KAPALI | KAPALI | KAPALI | KAPALI |
| 16.06.2021 08:01:55 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |
| 16.06.2021 08:01:56 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |
| 16.06.2021 08:01:57 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |
| 16.06.2021 08:01:58 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |
| 16.06.2021 08:01:59 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |
| 16.06.2021 08:02:00 | YENİBOSNA | 0 | AÇIK | AÇIK | AÇIK | AÇIK |

Şekil 16. Yenibosna İstasyonundan Geçen Bir Aracın CAN-Bus Rapor Örneği

Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki istasyonlardan geçen Metrobüs araçlarının kapıları kapalı iken her bir istasyon için genel ortalamaya göre kuyrukta bekleme süreleri ile araç tiplerine göre kuyrukta bekleme süreleri ayrı ayrı test edilmiştir. Z skoru, örneklem sayısının $n \geq 30$ ve $n < 30$ olması durumuna göre iki farklı formül ile hesaplanmıştır (İstanbul Ticaret Üniversitesi, 2021).

- $n \geq 30$; $Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$, $\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$ formülü,
- $n < 30$; $Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$, $S^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$, $\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ formülü kullanılmıştır.

Formüldeki;

- \bar{x}_1 ve \bar{x}_2 örneklemin ortalamasını,
- S_1 ve S_2 , örneklemin standart sapmasını,
- n_1 ve n_2 örneklem sayısını göstermektedir.

5.2.1 Kuyrukta bekleme süresi

5.2.1.1 Her bir istasyonda kuyrukta bekleme süresi

İstasyonlarda araçların kapı kapalıyken kuyrukta genel bekleme süresi ortalama 2,92 saniye, standart sapması ise 2,808 olarak ölçülmüştür. Genel ortalamaya göre istasyonlar arasında farkın olup olmadığını incelemek üzere çift taraflı H_0 sıfır (temel) hipotezi; $H_0: \mu_1 = \mu_2$ olarak, H_1 alternatif (karşıt) hipotezi $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ olarak oluşturulmuştur. Örneklem sayısı $n \geq 30$ olduğu için $\alpha = 0,05$ hata payı veya $(1 - \alpha) = 0,95$ güven olasılığı için kritik değerler hesaplanmıştır. Her bir istasyon için standart sapma ve Z skoru hesaplanarak Tablo 3’de gösterilmiştir. Anlam seviyesi $\alpha = 0,05$ için $Z_{\alpha/2} = 1,96$ olarak dikkate alınmış ve hesaplanan Z skoru değerleri ile test edilmiştir.

Tablo 3. İstasyonlarda Kuyrukta Bekleme Süresi Z Testi Tablosu

| İstasyon | İstasyon Ortalaması, \bar{x}_i | Standart Sapma, S_i | Z skor | $Z_{\alpha/2} = 1,96$ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------|--------|---|
| 1.Şükrübey | 1,88 | 0,711 | -5,875 | Yanlış |
| 2.İBB Sos. Tesisler | 2,39 | 1,792 | -1,48 | Doğru |
| 3.Küçükçekmece | 3,1 | 3,209 | 0,305 | Doğru |
| 4.Cennet Mahallesi | 2,46 | 2,549 | -0,893 | Doğru |
| 5.Florya | 2,03 | 0,823 | -4,735 | Yanlış |
| 6.Beşyol | 4,3 | 4,602 | 1,631 | Doğru |
| 7.Sefaköy | 2,93 | 2,074 | 0,018 | Doğru |
| 8.Yenibosna | 6,28 | 6,984 | 2,58 | Yanlış |
| 9.Şirinevler | 1,97 | 0,626 | -6,026 | Yanlış |
| 10.Bahçelievler | 2,53 | 1,737 | -1,15 | Doğru |
| 11.İncirli | 2,8 | 1,769 | -0,348 | Doğru |
| 12.Zeytinburnu | 3,34 | 2,539 | 0,882 | Doğru |
| 13.Merter | 4,24 | 3,87 | 1,821 | Doğru |
| 14.Cevizlibağ | 2,73 | 1,68 | -0,569 | Doğru |
| 15.Topkapı | 2,89 | 2,326 | -0,064 | Doğru |

| | | | | |
|----------------------|------|-------|--------|-------|
| 16.Bayrampaşa | 2,55 | 2,148 | -0,888 | Doğru |
| 17.Edirnekapı | 2,33 | 1,561 | -1,921 | Doğru |
| 18.Ayvansaray | 2,66 | 2,24 | -0,613 | Doğru |
| 19.Halıcıoğlu | 2,55 | 1,121 | -1,566 | Doğru |
| 20.Okmeydanı | 3,03 | 2,921 | 0,21 | Doğru |
| 21.Darülaceze Perpa | 2,5 | 1,453 | -1,419 | Doğru |
| 22.Okmeydanı Hastane | 2,77 | 2,006 | -0,366 | Doğru |
| 23.Çağlayan | 3,11 | 3,143 | 0,313 | Doğru |
| 24.Mecidiyeköy | 2,45 | 1,975 | -1,231 | Doğru |

Tablo 3'teki μ_1 her bir istasyonunun ayrı ayrı genel ortalamasını, μ_2 ise tüm istasyonların genel ortalamasını ifade etmektedir. Tablodan da görüleceği üzere H_0 hipotezi, Şükrübey ($Z=-5,875$), Florya ($Z=-4,735$), Yenibosna ($Z=2,58$) ve Şirinevler ($Z=-6,026$) istasyonları için, $|Z|>|Z_{\alpha/2}|=1,96$ olduğundan dolayı kabul görmezken diğer istasyonlar için kabul görmüştür.

Bu sonuca göre Şükrübey, Florya ve Şirinevler'de meydana gelen kuyrukta bekleme süreleri, genel ortalamanın altında kaldığı için önemsizdir. Ancak Yenibosna istasyonu kuyrukta bekleme süresi (6,28) ve standart sapmasının (6,984), genel ortalamanın oldukça üzerinde olması sistemin kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Yenibosna istasyonu ile kendisinden önceki Sefaköy istasyonu arası Metrobüsün en uzun mesafesine (3,5 km) sahip olması, araçların yüksek hızda seyretmelerine imkan sağlamaktadır. İstasyona önce gelen aracın, yolcu iniş biniş için bekleme süresinin uzaması ile istasyonu boşaltmamasının kuyrukta beklemeye yol açtığı anlaşılmıştır.

Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi;

Araç tiplerine göre Conecto ile Capacity, Conecto ile Phileas ve Capacity ile Phileas marka araçların kuyrukta bekleme süreleri için $H_0: \mu_1=\mu_2$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş olup sonuçlar Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi Z testi tablosu

| Araçlar Genel Değerlendirme | Z Skor | $Z_{\alpha/2}=1,96; H_0: \mu_1=\mu_2$ |
|-----------------------------|---------|---------------------------------------|
| Conecto ile Capacity | -0,3872 | Doğru |
| Conecto ile Phileas | -0,4051 | Doğru |
| Capacity ile Phileas | 0,0161 | Doğru |

$|Z|<|Z_{\alpha/2}|=1,96$ olduğundan araç tiplerine göre istasyonlarda kuyrukta bekleme süreleri arasında fark bulunmadığı, her üç tipteki araçların kuyrukta bekleme sürelerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.

5.2.2 İstasyonda bekleme süresi

Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki istasyonlardan geçen Metrobüs araçlarının kapıları açık iken istasyonda bekleme süresi, önce her bir istasyon için genel ortalamaya göre ayrı ayrı, daha sonra araç tiplerine göre Conecto –Capacity, Conecto – Phileas ve Capacity – Phileas araçlar için ikili olarak test edilmiştir.

5.2.2.1 Her bir istasyonda iniş-biniş bekleme süresi

İstasyonlarda araçların kapı açıkken genel bekleme süresi ortalama 12,24 saniye, standart sapması ise 3,829 olarak ölçülmüştür. Genel ortalamaya göre istasyonlar arasında farkın olup olmadığını incelemek üzere $H_0: \mu_1 = \mu_2$ hipotezi, $\alpha = 0,05$ hata payı veya $(1-\alpha) = 0,95$ güven olasılığı için kritik değerler hesaplanmıştır. Her bir istasyon için standart sapma ve Z skoru hesaplanarak Tablo 5’de gösterilmiştir. Anlam seviyesi $\alpha = 0,05$ için $Z_{\alpha/2} = 1,96$ olarak dikkate alınmış ve hesaplanan Z skoru değerleri ile test edilmiştir.

Tablo 5. İstasyonlarda Bekleme Süresi Z Testi Tablosu

| İstasyon | İstasyon Ortalaması, \bar{x}_i | Standart Sapma | Z skor | $Z_{\alpha/2} = 1,96$ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ |
|----------------------|----------------------------------|----------------|--------|---|
| 1.Şükrübey | 11,400 | 1,886 | -2,243 | Yanlış |
| 2.İBB Sos. Tesisler | 10,192 | 1,263 | -7,134 | Yanlış |
| 3.Küçükçekmece | 10,333 | 1,333 | -6,730 | Yanlış |
| 4.Cennet Mahallesi | 10,893 | 1,708 | -3,802 | Yanlış |
| 5.Florya | 10,929 | 1,997 | -3,240 | Yanlış |
| 6.Beşyol | 12,767 | 2,059 | 1,314 | Doğru |
| 7.Sefaköy | 13,433 | 4,153 | 1,549 | Doğru |
| 8.Yenibosna | 18,724 | 6,520 | 5,320 | Yanlış |
| 9.Şirinevler | 15,267 | 2,368 | 6,645 | Yanlış |
| 10.Bahçelievler | 13,000 | 2,653 | 1,508 | Doğru |
| 11.İncirli | 11,933 | 2,368 | -0,667 | Doğru |
| 12.Zeytinburnu | 15,000 | 2,707 | 5,366 | Yanlış |
| 13.Merter | 11,897 | 2,840 | -0,624 | Doğru |
| 14.Cevizlibağ | 16,867 | 6,277 | 4,008 | Yanlış |
| 15.Topkapı | 9,179 | 1,608 | -9,093 | Yanlış |
| 16.Bayrampaşa | 10,767 | 1,785 | -4,126 | Yanlış |
| 17.Edirnekapı | 11,967 | 2,817 | -0,507 | Doğru |
| 18.Ayvansaray | 10,067 | 2,277 | -4,932 | Yanlış |
| 19.Halıcıoğlu | 9,138 | 1,558 | -9,587 | Yanlış |
| 20.Okmeydanı | 9,793 | 1,455 | -7,979 | Yanlış |
| 21.Darülaceze Perpa | 11,167 | 3,561 | -1,608 | Doğru |
| 22.Okmeydanı Hastane | 10,889 | 3,142 | -2,169 | Yanlış |
| 23.Çağlayan | 12,233 | 2,062 | -0,010 | Doğru |
| 24.Mecidiyeköy | 15,100 | 1,981 | 7,351 | Yanlış |

Tablo 5’deki μ_1 her bir istasyonunun ayrı ayrı genel ortalamasını, μ_2 ise tüm istasyonların genel ortalamasını ifade etmektedir. Tablodan da görüleceği üzere H_0 hipotezi, Beşyol, Sefaköy, Bahçelievler, İncirli, Merter, Edirnekapı, Darülaceze Perpa ve Çağlayan istasyonları için, $|Z| < |Z_{\alpha/2}| = 1,96$ olduğundan dolayı kabul bölgesindeyken diğer istasyonlar için ret bölgesinde çıkmıştır. Bu sonuca göre söz konusu 8 istasyonda bekleme süresi, genel ortalamaya göre aynı çıkmıştır.

İBB Sosyal Tesisler, Küçükçekmece, Topkapı, Halıcıoğlu ve Okmeydanı istasyonlarındaki bekleme süreleri, genel ortalamanın çok altında kaldığı için önemsiz olup bu istasyonların çok yoğun olmadığı tespit edilmiştir. Şükrübey, Cennet, Florya, Bayrampaşa, Ayvansaray ve Okmeydanı Hastane istasyonlarındaki bekleme sürelerinin de önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Yenibosna istasyonu bekleme süresi (18,724) ve standart sapmasının (6,52), genel ortalamanın çok üzerinde olduğu ve sistemin kapasitesi açısından kritik bir istasyon olduğu görülmüştür. Şirinevler (15,267), Zeytinburnu (15), Cevizlibağ (16,867) ve Mecidiyeköy (15,1) istasyonlarındaki bekleme süreleri de Metrobüs hattının en uzun bekleme süresine sahip istasyonları olarak tespit edilmiştir. Cevizlibağ istasyonunda araçların sollama imkanına sahip olması nedeniyle uzun bekleme süresinin sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

Araç tipine göre iniş-biniş bekleme süresi;

Mercedes Conecto (18 m) ve Mercedes Capacity (19,5m) bekleme süresi

Ortalama bekleme süresi, Conecto araçlarda 12,604 saniye, Capacity araçlarda 12,345 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Conecto araçların 3,491, Capacity araçların 4,138 olarak hesaplanmıştır. Conecto ile Capacity marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{con} = \mu_{cap}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 0,735 olarak hesaplanmıştır. $|Z| < |Z_{\alpha/2}|$; $0,735 < 1,96$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Yani Mercedes Conecto ve Mercedes Capacity araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark yoktur.

Mercedes Conecto (18 m) ve APTS Phileas (26m) bekleme süresi

Ortalama bekleme süresi, Conecto araçlarda 12,604 saniye, Phileas araçlarda 11,760 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Conecto araçların 3,491, Phileas araçların 3,473 olarak hesaplanmıştır. Conecto ile Phileas marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{con} = \mu_{phi}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 2,624 olarak hesaplanmıştır. $|Z_{\alpha/2}| < |Z|$; $1,96 < 2,624$ olduğundan H_0 hipotezi ret edilmiştir. Yani Conecto ve Phileas araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark vardır.

Mercedes Capacity (19,5 m) ve APTS Phileas (26m) bekleme süresi

Ortalama bekleme süresi, Capacity araçlarda 12,345 saniye, Phileas araçlarda 11,760 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Capacity araçların 4,138, Phileas araçların 3,473 olarak hesaplanmıştır. Capacity ile Phileas marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{cap} = \mu_{phi}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 1,657 olarak hesaplanmıştır. $|Z| < |Z_{\alpha/2}|$; $1,657 < 1,96$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Yani Capacity ve Phileas araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark yoktur.

6. SONUÇ

Lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminde çığır açan Metrobüs sisteminin, raylı sistemlere göre proje ve uygulamada daha esnek ve daha ekonomik seçenek sunması her geçen gün sisteme olan rağbetin artmasına yol açmaktadır. İlk uygulandığı 1974 yılında elde edilen başarı ile günümüzde 43 ülkenin farklı şehirlerinde kullanılmaya devam etmektedir. Karışık trafikte seyreden toplu taşıma araçlarına göre kendi özel yolu bulunan BRT ile yolculukların daha hızlı ve sefer aralıklarının çok kısa olması sonucu sistemin yoğunluğuna rağmen yolcular tarafından tercih edilmektedir. Bu kadar yoğun talep gören BRT sisteminde zaman zaman istasyonlarda yolcu iniş

biniş esnasında sefer aralıklarını aşan bekleme süresi yolculuk kapasitesinin düşmesine, araç kuyruklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Araştırma kapsamında dünyadaki BRT uygulamaları incelenmiş ve ortalama 10 km uzunluğundaki çok sayıda koridor ile dünyada günlük yolculuğun en fazla Latin Amerika kıtasında yapıldığı tespit edilmiştir. Şehrin her yerine ulaşan ve uzunluğu ortalama 10 km olan koridorlar ile yüksek yolcu kapasitesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Araç kapılarının sağ tarafta olması nedeniyle istasyonlarda yolcu iniş binişin sağlanması için İstanbul'daki BRT sisteminde araçlar normal trafik düzenine göre ters yönde çalışmaktadır. Ters yönde sürüş, koridor bariyerlerinin yeterli yükseklikte olmaması sonucu karşı taraftan gelen araçların farları özellikle gece sürüşlerinde sürücülerini gözlerini rahatsız etmektedir. Araç kapılarının her iki yönde olması durumunda normal trafik düzeni ile aynı yönde kullanım mümkündür.

Beylikdüzü ve Söğütlüçeşme istikametinde gidecek yolcular, iniş ve biniş için aynı alanı ortak kullanmakta ve yolcuların istasyon içerisindeki hareketlilikleri kısıtlanmakta, araçların istasyondan ayrılmasını geciktirmektedir. İndirme platformu bulunan istasyonlarda ise araçlar mükerrer duruş yapmakta ve işletme hızının düşürmektedir. Mükerrer duruşu önlemek ve bekleme süresini düşürmek için aynı yönde inen ve binen yolcuların kullandığı platformlar ortak olmalıdır. İstasyon içi yolcu sirkülasyonunu artırmak için yeterli genişlikteki platform olması durumunda ortak kullanım düşünülmelidir. Farklı yönde inen ve binen yolcuların ortak kullandığı Yenibosna istasyonu, yolcu yoğunluğuna göre en dar istasyonlardan olup giriş ve çıkış alanlarının çok dar olması ve yolcu bekleme alanında reklam panolarının olması yolcu sirkülasyonunu olumsuz etkilemektedir.

Her ne kadar 2'li 3'lü grup kalkışları ile yolculuk talebinin karşılanması planlansa da 15 – 20 saniyelik sefer aralıkları, insanın görme özelliğinin kişiden kişiye değişmesine bağlı intikal reaksiyon süresinin farklı olması sonucu takip mesafesinin ihlal edilmesi halinde kazaların meydana gelmesine davetiye çıkarmakta ve sürücüler üzerinde baskı oluşturmaktadır. İstasyonlarda yolcu iniş biniş esnasında vuku bulan bekleme sürelerinin, çok kısa olan sefer aralıklarını aşması durumunda, hattın kapasitesinin düşmesine, kazalara ve sürücüler üzerinde strese neden olduğundan dolayı kısa sefer aralıkları uygun bir yöntem değildir. Hâlbuki insan faktörünün devre dışı bırakıldığı ve akıllı ulaşım sistemleri ile kontrol edilen raylı sistemlerde zirve saatlerde yolcu iniş biniş esnasında 45 saniyeye kadar çıkan bekleme süresi, 90 saniye olan sefer aralığından oldukça düşüktür. Kısa sefer aralıkları, ani hızlanma ve ani yavaşlama ile önde seyreden araca arkadan çarpma riskini artırmakta, iniş-biniş süresinin uzaması halinde araç kuyruklarına, yolcuların iniş – biniş esnasında düşmelerine ve sürücüler üzerinde stres oluşumuna neden olmaktadır.

Metrobüs sistemi, geleneksel toplu taşıma sisteminden farklı ve yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip olduğundan istasyonlar arası mesafenin Okmeydanı Hastane ile Çağlayan arasında olduğu gibi 400 metre olmaması gerekmektedir. Sistemden beklenen performansın sağlanması için istasyonlar arası ideal mesafe, 1000 metrenin üzerinde olmalıdır. Böylece işletme hızı ve kapasite artacak, yakıt tüketimi, emisyon değeri, şanzıman freni olan retarderin etkin kullanımı ile fren sistemi elemanlarının aşınması azalacaktır.

Araç kapı tiplerine göre arızalar incelendiğinde içe açılır kapıların, dışa açılır kapılardan daha kısa kilometrelerde arızalandığı tespit edilmiştir. Raylı sistem araçlarında yaygın olarak kullanılan dışa açılır kapı tipleri daha geniş kapı açıklığına sahip olduğundan, yüksek yolcu kapasiteli Metrobüs araçlarında da geleneksel toplu taşıma araçlarında kullanılan içe açılır kapı yerine dışa açılır kapı tipinin kullanılması yolcu sirkülasyon hızı açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır.

Kapı kapalı kuyrukta bekleme süresi, 0,05 anlam seviyesi ile z testi sonucunda, 2,92 saniye olan genel ortalamaya göre 6,28 saniye ile en fazla ortalama bekleme süresine sahip Yenibosna istasyonunda görülmüştür. Bunun sebebi olarak bir önceki istasyon ile arasındaki mesafenin fazla olması nedeniyle yüksek hızlara ulaşan araçların kendisinden önce gelen araçların istasyonda beklemesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Araçların hareket halindeki genel ortalama hızları 44 km/saat, en uzun mesafe olan Sefaköy – Yenibosna arasındaki ortalama hızları 60 km/saat, en kısa mesafe olan Okmeydanı Hastane – Çağlayan arasındaki ortalama hızları ise 30 km/saat civarındadır.

Araç uzunluklarına göre istasyonda bekleme süreleri ile ilgili yapılan incelemede 18 m ile 20 m ve 20 m ile 26 m arasında anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüş ancak 18 m ile 26 m arasında mukayese edildiğinde bekleme sürelerinin farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, Metrobüs hattında 18 m araç yerine daha uzun ve daha yüksek yolcu kapasiteli olan araçların kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylece iniş biniş yapan yolcu sirkülasyonu hızlandırılacak ve bekleme süresini azalacak, sistemde daha az sayıda araç ve şoföre ihtiyaç duyulacaktır.

Bu çalışma ile Metrobüs sisteminin geleneksel toplu taşıma sisteminden farklılığı vurgulanmış, yeni bir Metrobüs sistemi hayata geçirilirken yolcu taşıma kapasitesi yüksek aracın tercih edilmesi, yolcu sirkülasyonunu hızlandıran kapı tiplerinin dikkate alınması, takip mesafesinin ihlal edilemeyeceği ve insan faktörünün dikkate alındığı sefer aralıkları ile sistemin işletilmesi, istasyonlar arası mesafenin 1000 m'nin üzerinde olması, yeterli genişliğe ve yolcu bekleme alanı sahip olmayan platformlarda hareketliliği kısıtlayan ekipmanlara yer verilmemesi ve böyle platformların her yön için ayrı olması, uzun tek bir koridor yerine daha kısa çok sayıda koridorlar ile entegrasyonun sağlandığı bir toplu taşıma sistemi önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada kullanılan verilerin temini için İETT Genel Müdürlüğüne 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

Akı, M. (2012). *Kentsel toplu taşıma kapsamında metrobüs sisteminin yaya erişebilirliğinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği* [Yüksek Lisans]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

Baştürk, G. (2014). *Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması* [Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi]. Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı. Ankara.

BRT Data. (2021). *Global BRT Data*. brtdata.org adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.

Candemir, I. & Tanyel, S. (2005, Mayıs, 23-25). Hızlı raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasite

- hesaplamaları ve Türkiye’deki benzer sistemlerin birbirleriyle karşılaştırılması. *6.Ulaştırma Kongresi*. İstanbul.
- Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması*[Uzmanlık Tezi]. Kalkınma Bakanlığı. Ankara.
- Deli, A. (2015). *İstanbul metrobüs sisteminin analizi ve kapasite artırım önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Deng, T. & Nelson, J. D. (2011). Recent developments in bus rapid transit: A review of the literature. *Transport Reviews*, 31(1), 69–96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
- DPT. (2001). Ulaştırma özel ihtisas komisyonu raporu, kent içi ulaşım alt komisyonu raporu. *DPT Yayınları*. Ankara.
- El-Geneidy, A.M. & Vijayakumar, N. (2011). The effects of articulated buses on dwell and running times. *Journal of Public Transportation*, 14(3), 63–86. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.14.3.4>
- Güven, G. (2008). *Metrobüs sistemlerinin planlama, tasarım ve işletim özellikleri* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- İETT. (2012). İETT 2012 yılı faaliyet raporu. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi*. İstanbul.
- İETT. (2015, Aralık, 17-19). Trafik sıkışıklığı ve düşük emisyonlu alan yöntemlerinin İstanbul için uygulanabilirliğinin tartışılması çalıştayı. *8.Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu*. İstanbul.
- İETT. (2019). İstanbulda Toplu Ulaşım. <https://www.iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- İETT. (2020a). İETT 2020 yılı faaliyet raporu. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi*. İstanbul.
- İETT. (2020b). İETT pandemide yoğunluğu azaltmak için sefer sayılarını artırdı. <https://www.iett.istanbul/tr/main/news/iett-pandemide-yogunlugu-azaltmak-icin-sefer-/2435> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- İETT. (2020c). İstanbul’da otobüs seferleri sosyal mesafeye uygun planlandı. <https://iett.istanbul/tr/main/news/istanbulda-otobus-seferleri-sosyal-mesafeye-u/2351> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- İETT. (2020d). Sefer Saatlerini Güncelliyoruz. <https://iett.istanbul/tr/main/news/sefer-saatlerini-guncelliyoruz/2349> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- İETT. (2021). Kronolojik Tarihçe. <https://iett.istanbul/tr/main/pages/kronolojik-tarihce/32> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- Ilıcalı, M., Camkesen, N., Kızıldaş, M. Ç. & Ergin, E. (2015, Kasım, 13-14). *İstanbul’da kentiçi ulaşım sistemleri ve AB ülkeleri ile karşılaştırmalı bir değerlendirme*. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon, 397–403.

- İstanbul Ticaret Üniversitesi. (2021). Hipotez testleri. <https://ww4.ticaret.edu.tr/isl/wp-content/uploads/sites/114/2020/03/HipotezTestleri.pdf> 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- Jaiswal, S., Bunker, J. & Ferreira, L. (2010). Influence of platform walking on BRT station bus dwell time estimation: Australian analysis. *Journal of Transportation Engineering*, 136(12), 1173–1179. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000174).
- Kılıoğlu, M. E. (2010). *İstanbul metrobüs sisteminin kapasitesinin artırılması için alınması gereken önlemler* [Yüksek Lisans Tezi]. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J. & Rutherford, G. (2002). Bus rapid transit: An overview. *Journal of Public Transportation*, 5(2), 1–30. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1>.
- Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S., Simith, R., Cracknell, J. & Soberman, R. (2003). Bus rapid transit: Case studies in bus rapid transit (C. 1). *National Academies Press*. Washington.
- Önden, İ., Doğan, N. & Eldemir, F. (2019). Hızlı otobüs taşımacılığı için istasyon lokasyonlarının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar. *Istanbul Management Journal*, 29(85), 41–58. <https://doi.org/10.26650/imj.2018.29.85.0009>.
- Orhan, D. (2010). *Avcılar söğütlüçeşme koridorunda metrobüs sisteminin işletim özelliklerinin simülasyon modeli ile incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Pamuk, M.S. (2017). *Metrobüs hattı katarlanma problemine yönelik çözüm önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Beykent Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul.
- Saatçioğlu, C. & Yaşarlar, Y. (2012). Kentiçi ulaşımda toplu taşımacılık sistemleri: İstanbul örneği. *Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(3), 117–144.
- TDK. (2021). *Türk Dil Kurumu*. <https://sozluk.gov.tr/> adresinden 01 Ağustos 2021 tarihinde alınmıştır.
- Yurdagül, E. (2012). *İstanbul Avcılar - Söğütlüçeşme metrobüs sisteminin bileşenlerinin değerlendirilmesi ve dünyadaki metrobüs sistemleri ile karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. İstanbul.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

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



Araştırma Makalesi / Research Article

POISSON REGRESYON VE EVLİLİK İSTATİSTİKLERİNE UYGULANMASI*

POISSON REGRESSION AND APPLICATION TO MARRIAGE STATISTICS

Ozan ALTUNBAŞ¹

Özlem DENİZ BAŞAR²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.990732>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ozan.altunbas@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
23.09.2021

Kabul Tarihi / Accepted
28.12.2021

Öz

Regresyon analizlerinde bağımlı değişkenler normal dağılım gösterebilmekle birlikte iki değere sahip olabilirler. Bağımlı değişkenlere ilişkin durumlar nicel veya nitel olarak ölçülmesiyle veri setleri oluşturulur. Söz konusu gruplar içerisinde yer alan verilerin değerlendirilmesi ve modellenmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi ise poisson regresyon modelidir. Araştırmada Türkiye’de gerçekleşen evlilik sayıları, ortalama evlilik yaşı ve bunlara etken unsurlar incelenmektedir. Bu bağlamda TÜİK’ten 2001-2010 yılları arasında Türkiye’de gerçekleşen evlilik verileri analiz edilmektedir. Verilerin analizinde evlilik sayısı bağımlı değişken olarak, yaş ve evliliğin gerçekleştiği yıllar ise bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Analizler sonucunda 2001-2010 yılları arasında erkeklerde en çok evlilik sayısının gerçekleştiği yaş grubunun 25-29 yaş grubu olduğu, kadınlarda ise 20-24 yaş grubu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evlilik, genelleştirilmiş doğrusal modeller, Poisson regresyon modeli.

Abstract

Dependent variables in regression analyzes may show normal distribution but may have two values. Data sets are created by measuring the conditions of dependent variables quantitatively or qualitatively. There are various methods for evaluating and modeling the data in these groups. One of these methods is the poisson regression model. In the research, the number of marriages in Turkey, the average age of marriage and the factors affecting them are examined. In this context, the marriage data that took place in Turkey between the years 2001-2010 are analyzed from TUIK. In analysis, number of marriages was accepted as the dependent variable, age and years of marriage as the independent variable. As a result of the analyzes, it has been determined that the age group with the highest number of marriages for men between the years 2001-2010 is the 25-29 age group, and the 20-24 age group for women.

Keywords: Generalized linear models, marriage, Poisson regression model.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Sütluce, İstanbul, Türkiye.
ozan.altunbas@hotmail.com, Orcid.org/ 0000-0003-0438-485X.

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

1. GİRİŞ

Veri setleri kapsamında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla regresyon analizi yapılmaktadır. Bu bağlamda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında neden-sonuç ilişkisi oluşturulabilmektedir.

Sayılabilir verilerin analizinde en kullanışlı ve kolay yöntemlerden biri genelleştirilmiş doğrusal modellerden biri olan Poisson Regresyon modelidir. Poisson regresyon modeli oluşturulurken verilerin olasılıklarını belirlemek amacıyla poisson dağılımı kullanılır. Söz konusu dağılımın önemli özelliklerinden birisi elde edilen sonucun ortalamasının varyansı ile eşit olması olmaktadır. Bununla birlikte genel olarak gerçekleştirilen uygulamalarda varyansın ortalama değerini aştığı gözlemlenmektedir. Bu durum aşırı dağılım (overdispersion) olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu durumlarda negatif binom regresyon modelleri işlev göstermektedir (Kabacoff, 2015).

Klasik regresyon modeli ve poisson regresyon modeli arasındaki en önemli fark poisson regresyon modelinde bağımlı değişken için oluşturulan poisson dağılımında değerler negatif olmayan tamsayılardan oluşmaktadır. Bununla birlikte kesikli bir dağılım göstermektedir. Poisson regresyon modelinin en sık kullanıldığı alanlar demografik incelemeler, sağlık araştırmaları, biyoistatistik ve aktüeryal bilimlerdir.

Graff ve ark. (2020) tarafından gerçekleştirilen “Forecasting Daily Wildfire Activity Using Poisson Regression” adlı çalışmada bir ile beş gün arasındaki orman yangınlarının etkinliğini tahmin etmek için iki farklı poisson regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan regresyon modellerinin yangınları tahmin etmede kalıcı modellerden daha doğru sonuç verdiği görülmüştür (Graff ve ark., 2020).

Gao ve ark. (2021) tarafından hazırlanan “Dispersion modelling of outstanding claims with double Poisson regression models” adlı çalışmada sigortacılıkta tazminat karşılıklar için sıklıkla kullanılmakta olan aşırı dağılım Poisson zincir-merdiven modellerinin hali hazırda bulunan kısıtlamalarının da göz ardı edilerek çift Poisson zincir-merdiven modelinde yeni bir dağılım yapısı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin mevcut kullanılan yöntemlerden çok daha esnek olduğu sonucuna varılmıştır (Gao ve ark., 2021).

Benz ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen “Estimating the change in soccer’s home advantage during the Covid-19 pandemic using bivariate Poisson regression” adlı çalışmada seyircili oynanan maçlarda ev sahibi takımın büyük bir avantaja sahip olduğu ortamda taraftarsız oynanan maçların ev sahibi takımı ne derece etkilediği araştırılmıştır. Bu amaçla 17 farklı ligden veriler alınarak iki değişkenli Poisson regresyon modelleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda bulguların karışık olduğu, bazı liglerde avantajın ortadan kalktığı, bazılarında ise avantajın arttığı görülmektedir (Benz ve ark., 2021).

Ercan (2021) tarafından hazırlanan “Hanehalklarının İletişim ve Bilgi Teknolojilerine Erişimi: Bir Poisson Regresyon Analizi” adlı çalışmada hanehalklarının bilgi ve iletişim teknolojileri araçlarının sayısını etkileyecek faktörlerin Poisson regresyon modeli ile araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada yaşanan şehir, okullara ulaşabilmenin zor olması, gelir durumu, öğrenci sayısı gibi faktörlerin teknolojik aletlerin sayısını etkilediği sonucuna varılmıştır (Ercan, 2021).

Vicuña ve ark. (2021) tarafından hazırlanan “Forecasting the 2020 COVID-19 Epidemic: A Multivariate Quasi-Poisson Regression to Model the Evolution of New Cases in Chile” adlı çalışmada Covid-19’un Şili’deki durumunu anlayıp yayılmasını önlemek ve olabilecek en az hasarla süreci geçirebilmek için gerekli olabilecek alttatif yolların Quasipoisson regresyon

modelleri oluturularak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çıkan sonuçlara göre hastalığın yayılımının daha fazla olması bekleniyordu ancak beklenenin aksine ülkede uygulanan karantina politikaları sayesinde yayılım hızının ileriki süreçte azaldığı görüldü (Vicuña ve ark., 2021).

İşçi ve ark. (2021) tarafından hazırlanan “Comparison of Some Count Models in Case of Excessive Zeros: An Application” adlı çalışmada sayım verisinin çok sıfırlı olması durumunda çok sıfırlı poisson regresyon ve poisson hurdle regresyon modellerinin kullanıldığı, aşırı yayılım durumunda da negatif binom regresyon ve negatif binom hurdle regresyon modellerinin kullanıldığı belirtilmiştir. Örnek bir veri seti kullanılarak bu modellerin karşılaştırılmaları yapılmıştır. (İşçi, 2021).

2. POISSON REGRESYON

Poisson regresyon modeli bağımlı değişkenin sayılabilir olduğu durumlarda kullanılabilir. Bir analiz sürecinde gelişen durumlar ve tanımlanan bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla poisson regresyon modeli kullanılmaktadır. Poisson regresyon modeli devamlı olmaması ve negatif olmayan sonuçlar oluşturması nedeniyle tahmin edilen sayıların logaritması genel anlamda bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak kabul görmektedir.

2.1. Poisson Regresyon Modeli

Poisson regresyon modeli parametre μ ve bağımsız değişken $X' = [1, X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}]_{n \times (p+1)}$ arasındaki ilişkiyi ifade eden Poisson dağılımı tarafından açıklanmaktadır. Söz konusu model poisson dağılımının ortalaması ile ifade edilmektedir. Poisson regresyon modelinin formülü;

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

şeklinde gösterilmektedir (Cameron & Trivedi, 2013). Bu kısımda μ_i ,

$$E(y_i|x_i) = \mu(x_i) = c_i f(x_i, \beta) = \mu_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Çok Sıfırlı Poisson Regresyon Modeli

Poisson regresyon modeli kapsamında gerçekleşen aşırı dağılımın değerler kapsamında yer alan sıfırların çokluğu nedeniyle oluştuğu, genelleştirilmiş poisson regresyonu ve çok sıfırlı regresyonu kapsayan negatif binom regresyon modelinde bir varsayım olduğunun düşünüldüğü, çok sıfırlı bir varsayım bulunmaktadır. Bu bağlamda çoklu sıfır regresyon modellerinde ortalama aynı değerlerde olmasına karşın varyansları değişiklik göstermektedir. Sıfır olan sayım verilerini analiz etmek amacıyla oluşturulan çok sıfırlı poisson regresyon modeli şu şekilde gösterilmektedir (Cameron & Trivedi, 2013; Agresti, 2015):

$$P(Y_i = 0) = \pi_i + (1 - \pi_i)e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i} = 0 \quad (3)$$

$$P(Y_i = y_i) = (1 - \pi_i) \frac{\mu_i^{y_i} e^{-\mu_i}}{y_i!} y_i > 0 \quad (4)$$

Çok sıfırlı poisson regresyon modeli için tahmin edilen değer ve varyans şu şekilde gösterilmektedir:

$$E(Y_i) = (1 - \pi_i)\mu_i \quad (5)$$

$$V(Y_i) = \mu_i(1 - \pi_i)(1 + \mu_i\pi_i) \quad (6)$$

$\pi_i = 0$ çok sıfırlı bir poisson regresyonu kapsamında gerçekleştirildiğinde poisson regresyona girer ve $\pi_i > 0$ olduğunda ise aşırı dağılım göstermektedir.

2.3. Genelleştirilmiş Çok Sıfırlı Poisson Regresyon Modeli

Bir araştırmada sayım verileri kapsamında yer alan sıfırların çokluğunu belirlemek ve çok sıfırlı negatif iki terimli regresyona alternatif olacak şekilde aşırı dağılımı engellemek amacıyla bir model önerilmiştir. Söz konusu model için genelleştirilmiş poisson dağılımı kullanılmıştır (Consul & Famoye, 1992).

$Y_i, i = 1, 2, \dots, n$ bağımlı değişkenlerin ölçümünü tanımlamaktadır. Dolayısıyla Y_i olasılık fonksiyonu şu şekilde tanımlanabilmektedir:

$$f(Y_i > y_i) = \left(\frac{\mu_i}{1+\theta\mu_i}\right)^{y_i} \left(\frac{1+\theta y_i}{y_i!}\right)^{y_i-1} \exp\left\{\frac{-\mu_i(1+\theta y_i)}{1+\theta\mu_i}\right\}, y_i > 0 \quad (7)$$

Ortalama ve varyans genelleştirilmiş poisson dağılımı için şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$E(Y_i) = \mu_i \quad (8)$$

$$V(Y_i) = \mu_i(1 + 0\mu_i)^2 \quad (9)$$

Çok sıfırlı poisson regresyon modelinden farklı olarak bu modelde θ parametresi için aşırı ya da zayıf bir dağılım koşulu söz konusu olmaktadır. Bu bağlamda modelde $\theta > 0$ olduğu takdirde aşırı dağılım gerçekleşmesine karşın $\theta < 0$ olduğu durumda ise zayıf dağılım gerçekleşmektedir (Famoye & Singh, 2006). Genelleştirilmiş poisson regresyon modelinde tahmin edilenden daha çok sıfır bulunduğu durumlarda kullanımı uygun bulunmamaktadır (Cameron & Trivedi, 2013; Agresti, 2015).

2.4. En Çok Olabilirlik Tahmin Edici

Log-olabilirlik fonksiyonunun optimal duruma getirebilmek ve en çok olabilirlik yaklaşımında $\hat{\beta}$ tahminleri tercih edilmektedir. Poisson regresyon modeli kapsamında ortalama parametresi şu şekilde formüle edilmektedir:

$$E(y_i|x_i) = \mu_i = \exp(x_i'\beta) \quad (10)$$

Söz konusu denklem en çok olabilirlik fonksiyonunda ise şu şekilde yer almaktadır:

$$f(y_i|x_i) = \left\{\frac{e^{-\mu_i}\mu_i^{y_i}}{y_i!}\right\} = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

Bağımsız incelemeler için en çok olabilirlik işlevi şu şekilde yazılabilir:

$$L(y, \beta) = \prod_{i=1}^n f(y_i) = \prod_{i=1}^n \frac{e^{-\mu_i}\mu_i^{y_i}}{y_i!} = \frac{(\prod_{i=1}^n \mu_i^{y_i})e^{-\sum_{i=1}^n \mu_i}}{\prod_{i=1}^n (y_i!)} \quad (12)$$

Bu bağlamda Log-olabilirlik fonksiyonu şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^n y_i \ln(\mu_i) - \sum_{i=1}^n (\mu_i) - \sum_{i=1}^n \ln(y_i!) \quad (13)$$

Denklemden $\mu_i = \exp(x_i'\beta)$ yerine koyulduğunda;

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^n y_i x_i'\beta - \sum_{i=1}^n e^{x_i'\beta} - \sum_{i=1}^n \ln(y_i!) \quad (14)$$

sonucuna ulaşılır.

En çok olabilirlik tahmin edici için log-olabilirlik fonksiyonunun β 'ya göre birinci dereceden kısmi türevi alınır ve sifıra eşitlenir.

$$\frac{\partial l(\beta)}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n y_i x_i' - \sum_{i=1}^n x_i e^{-x_i'\beta} = \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \mu_i) = 0 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i' = (y_i - \exp(x_i'\beta)) = 0 \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i' (y_i - \mu_i) = 0 \quad (17)$$

biçiminde yazılır (Cameron & Trivedi, 2013).

Yukarıda yer alan denklemde görüldüğü üzere açıklayıcı değişkenler sabit bir ifade ile tanımlandığı durumlarda $(y_i - \mu_i)$ artıkların toplamı sıfır olmaktadır. En çok olabilirlik yaklaşımında üstel ortalama parametresi ve log-olabilirlik fonksiyonlarının doğrusal olmaması nedeniyle tek aşamalı bir çözüm oluşturulamamaktadır.

Ampirik bir yöntem ile $\hat{\beta}_p$ 'nin değerinin belirlenememesi nedeniyle aşamalı ağırlıklı küçük kareler (IWLS) yönteminden yararlanılabilir. Aşamalı ağırlıklı en küçük kareler yöntemi algoritması şu şekildedir:

$$\beta_{ML} = (x' \hat{W} \hat{z})^{-1} x' W z \quad (18)$$

Burada $W = \text{diag}[\hat{\mu}_i]$ ve \hat{z} ,

$$\hat{z}_i = \log(\hat{\mu}_i) + \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\hat{\mu}_i} \quad (19)$$

En çok olabilirlik tahmin edici için asimptotik olarak normal dağılım gösteren kovaryans matrisi şu şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Var}(\hat{\beta}_{ML}) = [-E \left(\frac{\partial^2 l}{\partial \beta_j \partial \beta_k'} \right)]^{-1} = (x' \hat{W} x)^{-1} \quad (20)$$

Bununla birlikte MSE eşitliği şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$E(L_{ML}^2) = E(\hat{\beta}_{ML} - \beta)' (\hat{\beta}_{ML} - \beta) = \text{tr} \left[(x' \hat{W} x)^{-1} \right] = \sum_{j=1}^j \frac{1}{\lambda_j} \quad (21)$$

$\lambda_j, x' \hat{W} x$, matrisin j .inci özdeğeridir.

Açıklayıcı değişkenler arasında güçlü bir ilişki oluşturulduğu takdirde ağırlıklı çarpaz-çarpım matrisi $x' \hat{W} x$ zayıf bir şekilde koşullu bir boyut kazanır. Bu durum neticesinde ise varyans oranı yükselir ve vektör en olasılık tahmini sonucu oluşur. Tahmin edilen katsayıların ortalama vektörünün çok uzun olması nedeniyle tahmin edilen katsayının okunması oldukça zordur. Mevcut veri ve modellere göre varyans değeri sonucu (Cameron & Trivedi, 2013; Agresti, 2015):

$$\hat{\beta}_{PR} \sim N[\beta, V_{ML}[\beta_{PR}]]$$

$$V_{ML}[\hat{\beta}_{PR}] = (\sum_{i=1}^n \mu_i x_i x_i')^{-1} \quad (22)$$

2.5. Poisson Regresyon Katsayıları ve Değerlendirilmesi

Poisson regresyon kapsamında elde edilen katsayılar ile bağımlı değişken y_i değerleri için tahminler üretilebilir. Bağımsız değişkenler kapsamında bir birim vektörün etkisi, doğrusal modellerde $E(Y|x_i) = x_i' \beta$ ve β katsayıları şeklinde tanımlanmaktadır. i. bağımsız değişken için üstel koşullu ortalama şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial E(Y|x_i)}{\partial x_i} = \beta_i \exp(x_i' \beta) \quad (23)$$

Burada $\hat{\beta}_i$ için x_i 'deki bir birimlik değişime bağlı olan $E(Y|x_i)$ 'deki değişimi belirlediği ifade edilebilir.

3. EVLİLİK İSTATİSTİKLERİ ÜZERİNE POISSON REGRESYON ANALİZİ UYGULAMASI

Ulusal çapta gerçekleştirilen araştırmaların yanı sıra dünya genelinde gerçekleştirilen pek çok araştırma sonucunda erken yaşta evlilik sorununun bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda evlilik yaşı ülkeden ülkeye veya bölgeden bölgeye farklılık göstermesine karşın genel olarak değerlendirildiğinde ortalama evlilik yaşının düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durum toplumlar açısından gelecek zaman diliminde sorunlar oluşmasına neden olabilecektir.

UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund - Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuklara Acil Yardım Fonu) tarafından hazırlanan "Çocuk Evliliğini Sona Erdirme" raporu değerlendirildiğinde küresel boyutta 700 milyondan fazla kadının erken yaşta evlendiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte söz konusu grup kapsamında 250 milyon kadının ise 15 yaşından küçükken evlendiği gözlemlenmektedir (UNICEF, 2013: 2). UNICEF tarafından hazırlanan söz konusu raporda erken yaşta evlenen kadınların %42'sinin Güney Asya Bölgesinde yaşadığı gözlemlenmektedir. Bununla birlikte sanayi açısından gelişmiş ülkelerde söz konusu oranın %2, Orta ve Doğu Avrupa Bölgesinde ise %4 olduğu gözlemlenmektedir.

Bireylerin sosyo-demografik özellikleri, evliliği ve evlilik yaşını etkileyen en önemli etmenlerden biri olmaktadır. Bununla birlikte erken yaşta evliliklere etki eden diğer etmenler şu şekilde sıralanabilir (Jensen & Thornton, 2003):

- Ekonomik problemler
- Yetersiz eğitim
- Geleneksel yaklaşım
- Dini pratikler
- Aile içi şiddet
- Toplumsal baskı
- Felaketler

Söz konusu etmenler bireylerde genel anlamda psikolojik olarak derin hasarlar oluşturmakla birlikte toplumsal açıdan eğitimsizliği, yoksulluğu ve anne ya da çocuk ölümlerinin artışına neden olmaktadır (Aydemir, 2011: 3).

Türkiye'de yaş ve yıllar baz alınarak gerçekleştirilen evlilik sayılarının değişiminin regresyon ile incelenmesi gerçekleştirilen evliliklerinin neden ve sonuçlarının belirlenmesi açısından önem

taşımaktadır. Bu bağlamda araştırma kapsamında Poisson Regresyon uygulaması için 2001-2010 yılları arasında Türkiye’de gerçekleştirilen evlilik sayılarından, yaşlarından ve yıllarından yararlanılmıştır.

3.1. Türkiye’de Gerçekleştirilen Evlilik Verileri

Araştırma kapsamında Türkiye’de 2001-2010 yılları arasında gerçekleştirilen evlilik sayıları istatistikleri bağımlı değişken olarak tanımlanmakla birlikte evliliklerin gerçekleştiği yıl ve yaşlar ise bağımsız değişken olarak tanımlanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda evlilik yaşları için 5 farklı yaş grubu oluşturulmuş ve sınıflandırılmıştır. Söz konusu yaş grupları şunlardan oluşmaktadır:

Tablo 1. Analizde Kullanılan Yaş Aralıkları

| |
|------------------|
| 18-19 yaş, |
| 20-24 yaş, |
| 25-29 yaş, |
| 30-34 yaş, |
| 35 yaş ve üzeri, |

Yıllar bazında hangi yaş aralığında kaç evlilik gerçekleştiğini belirten veri grubu TÜİK’ten alınmıştır.

Tablo 2. 2001-2010 Evlenme Sayıları (Yaşlara ve Cinsiyetlere Göre)

| Yıl | Cinsiyet | 18-19 | 20-24 | 25-29 | 30-34 | 35 Yaş ve Üzeri |
|------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------------|
| 2010 | Erkek | 12.824 | 163.791 | 237.474 | 91.054 | 75.572 |
| | Kadın | 89.136 | 212.923 | 132.952 | 45.817 | 56.149 |
| 2009 | Erkek | 14.171 | 172.563 | 240.851 | 87.490 | 74.595 |
| | Kadın | 95.319 | 217.547 | 132.455 | 42.887 | 55.675 |
| 2008 | Erkek | 15.616 | 194.610 | 264.317 | 90.898 | 74.318 |
| | Kadın | 108.250 | 241.925 | 141.774 | 44.891 | 55.430 |
| 2007 | Erkek | 16.036 | 198.418 | 269.688 | 87.497 | 64.393 |
| | Kadın | 113.364 | 250.828 | 143.251 | 43.311 | 36.834 |
| 2006 | Erkek | 16.332 | 201.822 | 264.032 | 85.970 | 65.650 |
| | Kadın | 113.547 | 254.430 | 138.415 | 42.278 | 37.085 |
| 2005 | Erkek | 16.682 | 214.130 | 255.566 | 89.404 | 63.570 |
| | Kadın | 115.398 | 265.144 | 131.322 | 43.453 | 34.309 |
| 2004 | Erkek | 15.943 | 211.516 | 237.414 | 85.995 | 62.321 |
| | Kadın | 108.800 | 261.813 | 120.598 | 41.779 | 33.087 |
| 2003 | Erkek | 16.688 | 199.060 | 215.184 | 74.323 | 57.977 |
| | Kadın | 101.554 | 243.954 | 107.896 | 35.102 | 30.981 |
| 2002 | Erkek | 16.018 | 180.564 | 191.885 | 65.308 | 53.788 |
| | Kadın | 91.508 | 225.043 | 96.578 | 30.482 | 29.281 |
| 2001 | Erkek | 23.352 | 204.553 | 194.966 | 62.432 | 54.646 |
| | Kadın | 99.034 | 225.813 | 92.708 | 28.893 | 29.656 |

Tablo 2’de yer alan veriler incelendiğinde 2002 yılında erkeklerde en çok evlilik sayısının 25-29 yaş grubunda, kadınlarda ise 20-24 yaş aralığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. 2006 yılında

gerçekleşen evlilik sayıları incelendiğinde de erkeklerde en çok evlilik sayısının 25-29 yaş grubunda, kadınlarda ise 20-24 yaş aralığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 2010 ve 2006 yıllarında erkeklerde 25-29 yaş grubunda gerçekleşen evlilik sayıları ve kadınlarda 20-24 yaş aralığında gerçekleşen evlilik sayıları birbirine yakın değerlerdedir. 2010 yılında gerçekleşen evlilik sayıları incelendiğinde ise erkeklerde en çok evlilik sayısının 25-29 yaş aralığında ve kadınlarda ise 20-24 yaş aralığında gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bununla birlikte evlilik sayıları incelendiğinde genel olarak evlilik sayılarında bir artış veya düşüş olduğu söylenememektedir.

3.2. Evlilik Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar

Evlilik verilerinin düzenlenmesi amacıyla “Tidyverse” kütüphanesi ve Excel formatlarının okunması amacıyla “readxl” kütüphanesi kullanılmıştır. TÜİK’ten elde edilen 2001-2010 yıllarına ilişkin evlilik verileri “read_excel” fonksiyonu kullanılarak okutulmuştur. Okutulan veriler “pipe operatörü” ve “gather fonksiyonu” kapsamında veri seti olarak kullanılmıştır.

Evlilik bağımlı değişkeninin, poisson dağılımına uygunluğu pearson istatistiğiyle kontrol edilmiştir. Pearson istatistiği modeller için uyum iyiliği ölçüm şekli olup seride aşırı yayılım olup olmadığını kontrolünde kullanılır. (Deniz, 2005). Yapılan test sonucunda p-değerinin 0,05’ten küçük olduğu durumlarda aşırı yayılım olduğu söylenir.

Buna göre Pearson istatistiğinin sonucu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3. Pearson İstatistiği Uyum İyiliği Tablosu

| Yıllar | Evlilik Sayısı | Beklenen Yıllar | Beklenen Evlilik Sayıları | Standart Artık Yıllar | Standart Artık Evlilik Sayıları | İstatistik Değeri | P-Değeri |
|--------|----------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------|----------|
| 2001 | 544.322 | 1996 | 593.927 | 0,6883 | -0,6883 | 3,049 | 0,9623 |
| 2002 | 510.155 | 1994 | 593.228 | 1,1533 | -1,1533 | 3,049 | 0,9623 |
| 2003 | 565.468 | 2000 | 595.116 | 0,4110 | -0,4110 | 3,049 | 0,9623 |
| 2004 | 615.357 | 2006 | 596.846 | -0,2563 | 0,2563 | 3,049 | 0,9623 |
| 2005 | 641.241 | 2009 | 597.883 | -0,5999 | 0,5999 | 3,049 | 0,9623 |
| 2006 | 636.121 | 2010 | 598.024 | -0,5270 | 0,5270 | 3,049 | 0,9623 |
| 2007 | 638.311 | 2011 | 598.376 | -0,5523 | 0,5523 | 3,049 | 0,9623 |
| 2008 | 641.973 | 2012 | 598.771 | -0,5973 | 0,5973 | 3,049 | 0,9623 |
| 2009 | 591.742 | 2008 | 597.608 | 0,0812 | -0,0812 | 3,049 | 0,9623 |
| 2010 | 582.715 | 2009 | 597.637 | 0,2065 | -0,2065 | 3,049 | 0,9623 |

Pearson Ki-kare testinin sonucu Tablo 3’te de gösterildiği üzere;

p-değerinin 0,05’ten büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre bağımlı değişken aşırı yayılım durumu göstermemektedir ve bağımlı değişken poisson dağılımına uygundur.

Tablo 4. Yaşa Göre Evlilik Sayılarının Regresyon Tablosu

| | Tahmin | Standart Hata | z-değeri | p-değeri |
|------------------------|---------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| (Intercept) | 10,1689125 | 0,001384617 | 7344,2056 | 0,000000 |
| Yas18-19 | 0,8328306 | 0,001658552 | 502,1432 | 0,000000 |
| Yas20-24 | 2,1188431 | 0,001465454 | 1445,8612 | 0,000000 |
| Yas25-29 | 1,9343868 | 0,001481291 | 1305,8786 | 0,000000 |
| Yas30-34 | 0,8491132 | 0,001654488 | 513,2180 | 0,000000 |
| 35 Yaş ve Üzeri | 0,6951860 | 0,001695232 | 410,0830 | 0,000000 |

Tablo 4 incelendiğinde poisson regresyon testi uygulanmış p-değerlerinin 0,05'den küçük olduğu gözlemlenmektedir. Bu bağlamda verilerin anlamlı olduğu ifade edilebilir. Söz konusu katsayılar istatistiksel açıdan önemli bir katkı sağlaması nedeniyle model içerisine dahil edilmektedir. Katsayılara bakıldığında 20-24 yaş arasındaki evlilik sayıları modele en çok etki eden yaş değişkeni olup, 20-24 yaş aralığındaki bir birimlik artış modele 2,12 birimlik artı yönlü etki etmektedir.

Yıllara göre gerçekleştirilen evlilik sayılarının regresyon tablosu aşağıda gösterilmektedir.,

Tablo 5. Yıllara Göre Evlilik Sayılarının Regresyon Tablosu

| | Tahmin | Standart Hata | z-değeri | p-değeri |
|--------------------|---------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| (Intercept) | 13,20729626 | 0,0009584226 | 13780,24254 | 0,000000 |
| 2002 | -0,06482638 | 0,0013779217 | -47,04649 | 0,000000 |
| 2003 | 0,03811272 | 0,0013426829 | 28,38550 | 0,000000 |
| 2004 | 0,12266160 | 0,0013157167 | 93,22798 | 0,000000 |
| 2005 | 0,16386438 | 0,0013031930 | 125,74068 | 0,000000 |
| 2006 | 0,15584781 | 0,0013055987 | 119,36885 | 0,000000 |
| 2007 | 0,15928464 | 0,0013045655 | 122,09785 | 0,000000 |
| 2008 | 0,16500526 | 0,0013028518 | 126,64929 | 0,000000 |
| 2009 | 0,08352975 | 0,0013279822 | 62,89975 | 0,000000 |
| 2010 | 0,06815723 | 0,0013329015 | 51,13449 | 0,000000 |

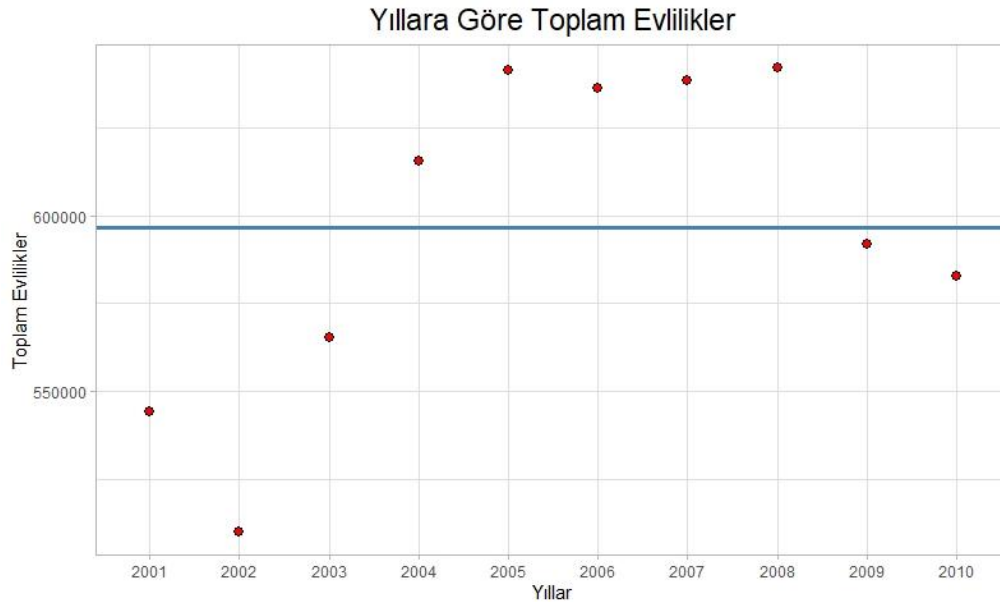
Tablo 5'te yer alan veriler incelendiğinde oluşturulan poisson regresyon modelinde p-değerlerinin 0,05'den küçük olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum bağlamında verilerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte söz konusu katsayılar istatistiksel açıdan önemli bir katkı sunması nedeniyle modele dahil edilmektedir. 2003 yılından itibaren yılların modelde pozitif yönlü bir etkisi olduğu görülmektedir. 2008 yılındaki evlilik sayısındaki bir birimlik artışın modelde 0,17 birimlik artı yönlü bir artışa neden olduğu söylenebilir.

Tablo 6. Evliliğin Yaş ve Yıllar ile Birlikte Regresyonu Tablosu

| | Tahmin | Standart Hata | z-değeri | p-değeri |
|------------------------|-------------|---------------|------------|----------|
| (Intercept) | 10,08160078 | 0,001658783 | 6077,71085 | 0,000000 |
| Yas18-19 | 0,83283060 | 0,001658552 | 502,14325 | 0,000000 |
| Yas20-24 | 2,11884311 | 0,001465454 | 1445,86146 | 0,000000 |
| Yas25-29 | 1,93438682 | 0,001481291 | 1305,87880 | 0,000000 |
| Yas30-34 | 0,84911317 | 0,001654488 | 513,21808 | 0,000000 |
| 35 Yaş ve Üzeri | 0,6951860 | 0,001695232 | 410,0830 | 0,000000 |
| 2002 | -0,06482638 | 0,001377921 | -47,04651 | 0,000000 |
| 2003 | 0,03811272 | 0,001342682 | 28,38551 | 0,000000 |
| 2004 | 0,12266160 | 0,001315716 | 93,22802 | 0,000000 |
| 2005 | 0,16441784 | 0,001303027 | 126,18146 | 0,000000 |
| 2006 | 0,15584781 | 0,001305598 | 119,36890 | 0,000000 |
| 2007 | 0,15928464 | 0,001304565 | 122,09790 | 0,000000 |
| 2008 | 0,14951622 | 0,001304499 | 114,61580 | 0,000000 |
| 2009 | 0,06804070 | 0,001329598 | 51,17387 | 0,000000 |
| 2010 | 0,05266819 | 0,001334512 | 39,46626 | 0,000000 |

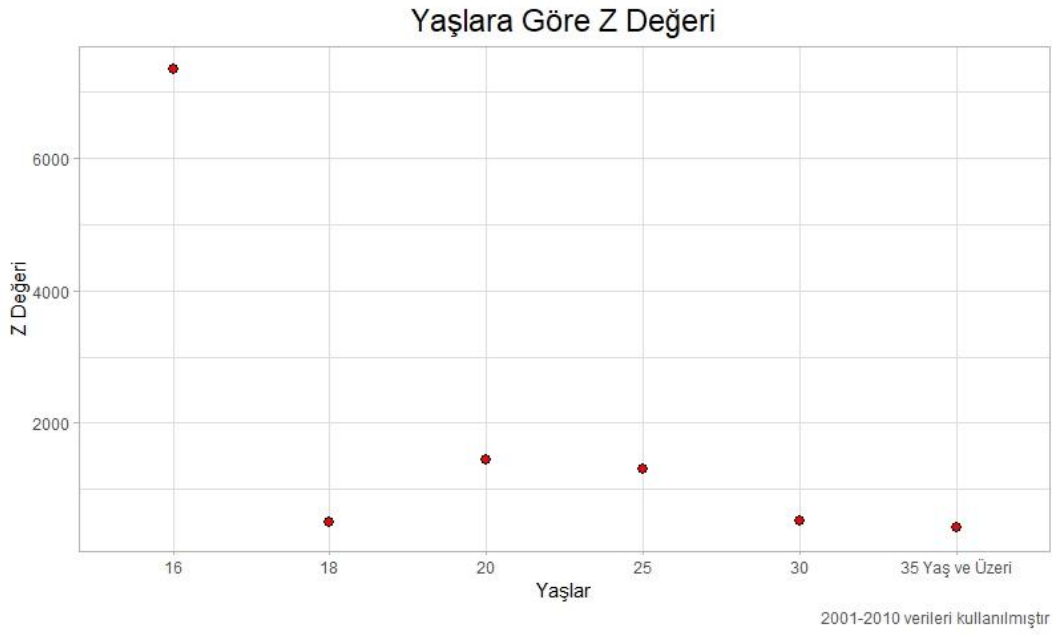
Tablo 6'da yer alan veriler incelendiğinde yaş gruplarına göre gerçekleşen evlilik sayılarında anlamlı bir farklılık olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$).

Poisson Regresyon uygulaması kapsamında yıllara göre gerçekleştirilen toplam evlilik sayıları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Yıllara Göre Toplam Evlilikler

Poisson Regresyon uygulaması sonucunda yaşlara göre elde edilen Z değerleri Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Yaşlara Göre Z Değeri

Evlilikler çoğunlukla 30 yaş öncesinde gerçekleştiği için bu yaşlardaki z değerinin pozitif olduğu ve ortalamadan pozitif yönlü standart saptığı görülmektedir. Sonraki yaşlarda da evlilik sayısının azalmasından dolayı ortalamanın altında standart saptığı sonucuna varılmaktadır.

Bu uygulama kapsamında evlilik oranlarının yanı sıra boşanma oranları da yorumlanabilir. Bu bağlamda teknolojik gelişmeler ve çeşitli sosyo-kültürel, ekonomik ve politik etkiler itibariyle toplumsal değerler değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak ise yetişen yeni nesiller kendilerinden önceki nesillere göre farklı bir toplumsal yapıyı barındırmakta iken geçmiş nesiller geleneksel ve kültürel değerlere bağlılıklarını korumaktadırlar (Thornton, 1985: 859). Bu bağlamda evlilik ve boşanma oranlarının değerlendirilmesinde yaş gruplarının dikkate alınması önem arz etmektedir. Bununla birlikte evlilik yaşının boşanma üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılan pek çok araştırma bulunmaktadır (Bumpass & Sweet, 1972; Booth & Edwards, 1985; Sanizah ve ark., 2014). Bu bağlamda araştırmalar sonucunda evlilik yaşının düşmesinin sonucu olarak toplumsal anlamda boşanma eğiliminin artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Yapılan araştırmalar incelendiğinde kadınların erken yaşta evlenmesi ve erkeklerin kendilerinden genç kadınlarla evlenmesi durumunda evliliklerin sürdürülebilirliğinin güçleştiği gözlemlenmektedir. Yapılan bu araştırma kapsamında da kadınların evlilik yaşlarının erkeklerin evlilik yaşlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla Türkiye’de gerçekleşen erken evliliklerde cinsiyetin anlamlı bir etkisinin bulunduğu ifade edilebilir.

4. SONUÇ

Bu araştırmada TÜİK’ten elde edilen veriler doğrultusunda 2001-2010 yılları arasında gerçekleştirilen evlilikler, evlilik yaşları ve bunlara etken unsurlar araştırılmıştır. Bununla birlikte ilk olarak dünya geneli ile kıyaslama yapmak amacıyla 1990-2017 yılları arasında dünya genelinde farklı bölgelerden ülkelerde gerçekleştirilen evlilik sayıları ve evlilik yaşları incelenmiştir. Söz konusu veriler değerlendirildiğinde 1990 yılında erkekler ve kadınlar için ortalama evlilik yaşının en yüksek olduğu ülkenin Danimarka, 2000 yılında İzlanda ve 2017 yılında ise İsveç olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda söz konusu ülkeler arasında Kuzey Avrupa Bölgesinde bulunan ülkelerde ortalama evlilik yaşının en yüksek değerde olduğu çıkarımı yapılmıştır. Bununla birlikte

söz konusu veri grubu içerisinde ortalama evlilik yaşının 2017 yılında en düşük olduğu ülkenin Türkiye olduğu tespit edilmiştir.

TÜİK'ten elde edilen veriler doğrultusunda Türkiye'de gerçekleştirilen evlilik verileri kapsamında Poisson Regresyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde her bir değişkenin modele uygun olduğu ($p < 0,05$) tespit edilmiştir. Dolayısıyla herhangi bir değişken model kapsamından çıkartılmamıştır.

Oluşturulan Poisson Regresyon modeli değerlendirildiğinde erkeklerde en yüksek evlilik yaşının 25-29 yaş aralığında, kadınlarda ise 20-24 yaş aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Bununla birlikte 20-24 ve 25-29 yaş gruplarında gerçekleştirilen evlilik sayısının 2010 yılına doğru ilerledikçe azalma gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu bağlamda sosyo-kültürel, teknolojik, ekonomik ve politik etmenler doğrultusunda farklılık gösteren toplumsal yapının etkili olduğu çıkarımı yapılmaktadır. 45-49 yaş grubunda yer alan bireylerin evlilik sayılarının düşmesi ise bekârların az olması veya bekârlığa alışma durumu ile açıklanabilir. Genç yaş grubunda (18-25) yer alan erkeklerin eğitim hayatı, askerlik ve iş bulma kaygıları dolayısıyla evliliği erteledikleri ifade edilebilir.

Çalışma daha kapsamlı olacak şekilde 2010-2020 yılları arasındaki veriler ele alınarak tekrar değerlendirildiğinde toplam evlilik sayılarında azalma olduğu görülmekte olup, evlilik yaşlarına dair sonuçların da benzer olduğu sonucuna varılmıştır. "Poisson regresyon analizi sonuçlarına bakıldığında 25-29 yaş aralığında evlilik oranının erkeklerde daha yüksek olduğu, 20-24 yaş aralığında evlenen kadın sayısının da yüksek olduğu anlaşılmaktadır" (Altunbaş, 2021).

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Agresti, A. (2015). Foundations of linear and generalized linear models. *John Wiley & Sons*.
- Altunbaş, O. (2022). *Poisson regresyon analizi ve Türkiye'deki evlilik istatistiklerine uygulanması*. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Aydemir, E. (2011). Evlilik mi evcilik mi? Erken ve zorla evlilikler: Çocuk gelinler. *Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kurumu*. Uşak.
- Benz, L.S. & Lopez, M.J. (2021). Estimating the change in soccer's home advantage during the Covid-19 pandemic using bivariate Poisson regression. *AStA Advances in Statistical Analysis: A Journal of the German Statistical Society*. 1-28.
- Booth, A. & Edwards, J.N. (1985). Age at marriage and marital instability. *Journal of Marriage and the Family*, 47(1), 67-75.

- Bumpass, L.L. & Sweet, J.A. (1972). Differentials in marital instability: 1970. *American Sociological Review*, 37(6), 754-766.
- Cameron, A.C. & Trivedi, P.K. (2013). Regression analysis of count data (Vol.53). *Cambridge university press*, Cambridge, 598p.
- Consul, P. & Famoye, F. (1992). Generalized Poisson regression model. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 21(1), 89-109.
- Deniz Başar, Ö. (2005). Poisson regresyon analizi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(7), 59-72.
- Ercan, U. (2021). Hanehalklarının İletişim ve Bilgi Teknolojilerine Erişimi: Bir Poisson Regresyon Analizi. *Akdeniz İletişim*. 35, 402-422.
- Gao, G., Meng, S. & Shi, Y. (2021). Dispersion modelling of outstanding claims with double Poisson regression models. *In Insurance Mathematics and Economics November: Part B*. 101,572-586.
- Graff, C.A., Coffield, S.R., Chen, Y., Foufoula-Georgiou, E., Randerson, J.T. & Smyth, P. (2020). Forecasting daily wildfire activity using poisson regression. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 58(7), 4837-4851.
- İşçi Güneri, Ö., Durmuş, B. & İncekırık, A. (2021). Comparison of some count models in case of excessive zeros: An application. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(40), 247-268.
- Jensen, R. & Thornton, R. (2003). Early female marriage in the developing world. *Gender & Development*, 11(2), 9-19.
- Kabacoff, R.I. (2015). R in Action (Second Edt.) Data analysis and graphics with R. *Manning*. Shelter Island.
- Sanizah, A., Hasfariza, F., Rahayu, S.N. & Nasliana, N.N. (2014). Determinants of marital dissolution: A survival analysis approach. *International Journal of economics and Statistics*, 2, 348-354.
- Thornton, A. (1985). Reciprocal influences of family and religion in a changing world. *Journal of Marriage and the Family*, 381-394.
- Vicuña, M. I., Vásquez C. & Quiroga B. F. (2021). Forecasting the 2020 COVID-19 Epidemic: A multivariate quasi-poisson regression to model the evolution of new cases in Chile. *Frontiers in Public Health*, 9, 1-7.
- UNICEF, (2013). Dünya Çocuklarının Durumu 2013 Raporu- Engelli Çocuklar. *UNICEF Türkiye*. Ankara.



Araştırma Makalesi / Research Article

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE'DE HES (HİDROELEKTRİK SANTRAL) SEÇİMİ*

HEPP SELECTION IN TURKEY WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Semra ALBAYRAK¹

Münevver TURANLI²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1113158>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
semralbayrak61@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
06.05.2022

Kabul Tarihi / Accepted
23.05.2022

Öz

Güncel olarak Sanayi Devrimi'nden sonraki yıllarda enerji kaynakları, toplumlarda insanlığın ve üretim faaliyetlerinin gelişmesi açısından çok büyük önem taşımıştır. Sanayi devriminden bu yana modern medeniyetlerin gelişim göstermesinde etkin bir kuvvet pozisyonunda bulunmuştur. Sanayi devriminin ardından ortaya çıkmış olan teknolojik kapsamlı gelişmelerde artış görülmesi doğrudan enerji kaynaklarına bağlı olmaktadır. Son 2 yüzyıl süresince kullanımı devam etmekte olan fosil nitelikli enerji yakıtlarının meydana getirdiği doğa zararlarının, güncel olarak gittikçe artış göstermesi, insanların enerji gereksinimleri açısından alternatif kaynak arayışına girmesine sebebiyet vermiştir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi kullanılarak 6 kriter belirlenmiş olup; bu kriterlere dair birimler ve kodlarla Hidroelektrik Enerji Santrallerinin kurulumları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada çeşitli bölgelerden 17 adet baraj ele alınmış olup; çeşitli kriterlerin puanlandırılması ile birtakım analizler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: HES, TOPSIS, yenilenebilir enerji.

Abstract

Currently, in the years following the Industrial Revolution, energy resources are of great importance in terms of the development of humanity and production activities in societies. Since the industrial revolution, it has been in the position of an active force in the development of modern civilizations. The increase in technological developments that emerged after the industrial revolution is directly dependent on energy resources. The recent increase in the environmental damage caused by fossil energy fuels, which have been in use for the last 2 centuries, has led people to seek alternative sources for their energy needs. In this study, 6 criteria were determined by using the TOPSIS method, which is one of the multi-criteria decision-making methods; The units and codes regarding these criteria and the installations of Hydroelectric Power Plants were evaluated. In this study, 17 dams from various regions were discussed; A number of analyzes have been put forward by scoring various criteria.

Keywords: HEPP, renewable energy, TOPSIS.

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

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Sütlüce, İstanbul, Türkiye.
semralbayrak61@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-8065-9953.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İstatistik Bölümü, Sütlüce, İstanbul, Türkiye.
mturanli@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9535-4527.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji gereksinimlerini karşılayabilmek için kullanılmakta olan enerji beş adet temel kaynaktan sağlanmaktadır. Buradaki kaynaklar “mineral kaynaklardan elde edilen kimyasal nitelikli reaksiyonlar, nükleer kaynaklı reaksiyonlar, soğutma, dünya ay ve güneş hareketlerine bağlı çekim potansiyelleri ve kimyasal nitelikli reaksiyonlar ve bunlardan oluşan doğal radyoaktif bozulmalardır” (Twidell & Weir, 2015). Enerji kaynaklarının çeşitleri geleneksel ve yenilenebilir nitelikli şekilde iki kategoriye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde; biyokütle, rüzgar, jeotermal, gelgit, güneş, hidrolik kaynakları bulunmakta ve geleneksel enerji kaynaklarının içerisinde ise; radyoaktif kor enerjisi, kömür, doğalgaz ve petrol yer almaktadır (Twidell & Weir, 2015).

Enerji kaynakları çeşitlerinden olan yenilenebilir nitelikli enerji kaynakları doğal ortamlarda direkt olarak kendiliğinden elde edilebilen ve bu durumla birlikte kendini sürekli yenilemekte olan bir özelliği barındırmasıyla bitmeyecek bir döngüyü içermektedir. Yenilenebilir nitelikteki enerjinin herhangi bir maliyeti bulunmadığından oldukça ekonomiktir (Küleççi, 2009). Başka bir enerji kaynağı çeşidi olan fosil ya da geleneksel enerji kaynakları özellikleri dolayısıyla statik enerjiyi barındıran depolara benzemektedir. Aynı zamanda geleneksel enerji kaynakları kendi kendini yenileyemediğinden dolayı son bulmaktadır. Bu sebepten maliyetleri oldukça yüksektir. Yenilenebilir nitelikli enerji kaynaklarının oldukça önemli bir özelliği, doğaya ve çevreye vermiş olduğu zararın geleneksel enerji kaynağına kıyasla minimum düzeyde olmasıdır.

Çalışmada öncelikle hidroelektrik enerjisine dair genel bilgiler derlenmiş olup; dünyadaki tarihsel sürecine değinilmiş ve Türkiye’deki hidroelektrik potansiyeline dair bilgiler verilmiştir. Daha sonra hidroelektrik santrallerinin kurulması sürecinde ön planda olan kriterler ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra çalışmada kullanılmakta olan yöntem ve kullanılan yöntem sonucunda ortaya çıkan veriler değerlendirilmiştir.

2. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Hidroelektrik enerji kaynağı hareket halindeki sudan yerçekimi kuvvetinin etkisiyle sağlanan sürdürülebilir ve yenilenebilir nitelikli bir enerji türüdür. Barajlarda sürekli akmakta olan suyun alt kısımdaki türbinlere düşürülmesi doğrultusunda kurulmuş olan sistemden belli bir elektrik enerjisi üretilmekte ve enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Barajlardan elde edilebilen elektrik enerjisinin üretim sürecinde kullanılmasının dışında hidroelektrik enerji kullanımı dalga ya da gelgit enerjisi benzeri sistemlerde de kullanılan bir enerji çeşididir (Bayazıt, 2013).

Hidroelektrik enerji kaynaklı santraller havayı ya da suyu kirletmez, fakat çevrenin değişmesinde, baraj bulunan alanlardaki arazi kullanımlarında, doğal yaşamın sürdürüldüğü alanlarda ve yerleşim yerlerinde oldukça büyük çevresel etkilere sebep olmaktadır (USGS, 2012). Diğer bir ifade ile hidroelektrik enerji kaynaklı santrallerin doğal yaşam ve çevrenin değişmesinde birçok avantaj ve dezavantajları vardır. Hidroelektrik enerji santrallerinin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Elektrik üretiminin sağlandığı aşamada hiçbir yakıt yanmadığı için en az seviyede kirlilik oluşumu gerçekleşmektedir.
2. Hidroelektrik enerji kaynaklı santrallerin çalıştırılabilmesi adına su doğal şekilde doğrudan karşılanabildiği için herhangi bir maliyeti bulunmamaktadır.
3. Hidroelektrik faktörü, atmosfere fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı gibi zararların minimum seviyeye indirgenmesinde büyük bir rol oynamaktadır.
4. Hidroelektrik enerji santralleri, farklı diğer enerji kaynaklarına kıyasla oldukça düşük bakım ve işletme maliyetlerine sahip olmaktadır.

5. Hidroelektrik enerji kaynaklı santraller yenilenebilir nitelikte bir enerji kaynağı olmaktadır. Yağışlar doğrultusunda rezervuarlardaki sular sürekli olarak yenilenmekte ve bu sebeple enerji kaynağı daima bulunabilmektedir.

Hidroelektrik enerji santrallerinin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Yatırım maliyetlerinin yüksek miktarlarda olması gerekliliği.
2. Hidrolojiye ilişkin olarak bölgede ya da zeminde meydana gelen çökme durumları.
3. Kimi durumlarda, yaban yaşamı habitatının ve arazilerin sular altında kalabilmesi.
4. Balık habitatının değişimi ya da yok edilme durumu.
4. Geçiş kısıtlaması ya da balık tutulması.
5. Nehir sularında ya da rezervuarlardaki kalite seviyesinin değişikliğe uğrayabilmesi
6. Yerli yerleşim alanlarının sular altında kalma durumu.

Bütün dezavantajlarına ve avantajlarına rağmen insanların enerji gereksinimlerinin karşılanabilmesi açısından hidroelektrik enerji, dünyada genel olarak kullanılan bir enerji kaynağı türü olmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde hidroelektrik enerjinin sağlanması için büyük yatırımlar yapılmıştır.

2.1. Dünya’da Hidroelektrik Enerji

Yenilenebilir nitelikteki enerji kaynaklarının bir çeşidi olarak hidroelektrik enerjinin, dünya üzerinde kurulum gücü gün geçtikçe artış göstermektedir. 2018 senesinden itibaren hidroelektrik enerji avantajlarından faydalanılarak oluşturulan elektrik üretimi yıllık ortalama 4200 TWh düzeyine ulaşmış bulunmaktadır. Hidroelektrik enerjisi doğrultusundaki güç potansiyeli 1.292 GW seviyesine gelmiştir. Bu miktar hidroelektrik enerji üretimi ve kullanımı bakımından en üst seviyedir.

Dünya üzerinde en yüksek hidroelektrik potansiyeli olan ülke, 352 GW miktarı ile Çin’dir. Ardından en yüksek hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünü barındıran ülkeler 104 GW ile Brezilya, 103 GW ile Amerika Birleşik Devletleri ve 81 GW ile Kanada şeklinde sıralanmaktadır. Buradaki 4 ülke dünya üzerinde hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünün ortalama %50’lik kısmını oluşturmaktadır. Dünyada kurulmuş olan hidroelektrik enerji kapsamındaki santraller herhangi bir ülkenin içerisinde bulunan doğal akarsuların akış potansiyellerinin %100 oranında değerlendirilebilme hedefi ile oluşturulmaktadır.

2.2. Hidroelektrik Enerji Ekseninde Türkiye’nin Potansiyeli

Türkiye’de 2020 yılı Kasım ayından itibaren hidroelektrik enerji kapsamındaki kurulum gücü ortalama 30.534 MW olarak tespit edilmiştir (TSKB, 2020). Buradaki ölçü ile Türkiye’nin dünya üzerinde en fazla hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünü barındıran 9. büyük ülke olduğu söylenebilmektedir. 2019 senesinde hidroelektrik enerji santrallerinden elde edilmiş olan enerji miktarının ise 89 TWh olduğu belirlenmiştir. Türkiye, verimli ve bol kaynakları sayesinde ve devletin sağlamış olduğu desteklerden kaynaklı olarak, ilerleyen senelerde hidroelektrik ekseninde gelişmesiyle, Avrupa’nın ön plandaki pazarlarından biri konumuna ulaşmaya adaydır (IHA, 2020). Türkiye, Avrupa ve Asya’nın kesiştiği yerde olan Fırat ve Dicle nehirleri de dahil olmak üzere yirmi beşten fazla nehir havzasına sahiplik eden bir ülkedir. Bunun yanı sıra Türkiye, Avrupa Birliği’ne aday sıfatında bir ülke pozisyonunda olmasından dolayı elektriksel altyapı çalışmalarını direkt olarak Avrupa’yla entegre etmekteyken, eş zamanlı olarak her çeşit yenilenebilir nitelikli enerji kaynaklarının geliştirilmesi konusunu ön planda tutmakta ve genel anlamda enerji çeşitlerinin artırılması stratejisini izlemektedir. Hidroelektrik enerjisi hakkında Türkiye’nin ilerleyen zaman içerisinde oldukça iddialı plan ve düzenlemeleri bulunmaktadır.

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN KURULUM KRİTERLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Hidroelektrik enerji santrallerinin kurulumu, ciddi bir analizi gerektirmektedir. Bu analizi gerçekleştirebilmek için birtakım kriterler ortaya konmuştur. Bu kriterlerin analizi sonucunda gerekli etkinliğin sağlanabileceği ön görüldüğünde hidroelektrik santralleri kurulumu gerçekleştirilmektedir. Hidroelektrik santralleri tek tip değildir ve birden çok çeşidi bulunmaktadır. Bu doğrultuda bu ana başlık altında HES’lerin kurulum kriterlerine ve çeşitlerine değinilmiştir.

3.1. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Kurulum Kriterleri

Hidroelektrik santrallerinin kurulumu, birbirinden farklı diğer yenilenebilir nitelikteki enerji santrallerine benzemekte ancak yenilenemez ya da fosil yakıtlı enerji kaynakları ile çalıştırılan santrallerin kurulumu açısından daha yüksek maliyetli olmaktadır. Fakat, buradaki santrallerin kurulumu çok daha yüksek maliyetlere ulaşmış olsa dahi, kurulum sonrasında bakım maliyetine bakıldığı zaman diğer santrallere göre oldukça düşük olduğu gözlemlenebilmektedir.

HES kurulumunda çok sayıda birbirini içeren benzer kriterler dikkate alınmaktadır (Derse & Yontar, 2020). Kriterlerin belirlenmesinde öncelikle bölgesel koşullar, istenilen HES özellikleri ve hali hazırdaki mevcut bilgi ve araçlar kullanılır. Bu kriterlere karar vermek için öncelikle alternatiflerin belirlenmesi gerekmektedir. Alternatiflerin belirlenmesinden sonra mevcut seçenekler arasından sınıflandırma veya sıralama ile kurulacak HES’in özellikleri belirlenmektedir.

HES kurulumu için genellikle çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Böylece karşılaşılabilecek problemlerin çözümünün ve alınacak kararların daha verimli ve etkili olması sağlanır. Bu yöntemlerden bazıları TOPSIS, ELECTRE, AHP, SWARA olarak bilinmektedir (Özden,2009).

3.2. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Sınıflandırılması

Hidroelektrik enerji santralleri çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Hidroelektrik enerji santrallerinin sınıflandırılması için kullanılmakta olan kıstaslar “baraj-gövde yapılarına göre, düşülerine göre, depolama kapasitelerine göre ve kurulu temel güçlerine göre” olmaktadır. (Şekkeli & Keçecioglu, 2011). Düşülerine göre kıstaslar; alçak düşülü, ortak düşülü ve yüksek düşülü olmak üzere, kurulu temel güçlerine göre kıstaslar; küçük kapasiteye sahip, orta kapasiteye sahip ve büyük kapasiteye sahip olmak üzere, depolama kapasite durumlarına göre kıstaslar; depolamasız ya da depolamalı olmak üzere ve baraj gövde yapılarına göre kıstaslar ise; ağırlıklı olarak beton gövdeli olanlar, beton kemer nitelikli gövdeye sahip olanlar, toprak ve kaya dolgululu gövdeye sahip olanlar şeklinde çeşitlilik göstermektedir.

Büyük ölçekli özelliğe sahip hidroelektrik enerji santrallerinin en önemli dezavantajlarından biri çok yüksek düzeyde elektrik enerjisi elde edildiğinden doğalgaz ve kömüre bağlı çalışmakta olan termik nitelikli santraller benzeri konvansiyonel santraller kapsamında yer almış olmalarıdır. Büyük ölçekli özelliğe sahip hidroelektrik enerji santrallerinden üretilen elektrik oldukça büyük çaplı herhangi bir bölgeye enerji kaynaklı nakil hatları ile ulaştırılabilmektedir.

4. YÖNTEM VE BULGULAR

Karar biliminde çok kriterli karar verme yöntemleri birbirinden farklı perspektifleri olan karar verme mekanizmalarıdır (Uludağ & Doğan, 2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinde süreçleri etkilemekte olan birçok kriter ve alternatifler bulunmaktadır. Bu çalışmada en yaygın olarak kullanımı tercih edilen AHP, ELECTRE, MULTIMOORA ve TOPSIS yöntemleri arasından TOPSIS yöntemi seçilerek uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

4.1. TOPSIS Karar Verme Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan Topsis yönteminde karar vericiler farklı özelliklere sahip olan alternatifleri birden çok kritere göre değerlendirerek sıralamaktadırlar (Türkmen & Çıgıl, 2012-63).

Topsis karar verme yöntemi Yoon ve Hwang tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir (Ak Oğuz, 2018).

TOPSIS yöntemi her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır (Gündoğan & Borat, 2021). Bu yöntem, Electre yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş ve çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

TOPSIS ile tüm alternatiflerin pozitif ve negatif-ideal çözümünden uzaklıkları Euclid uzaklığı yardımıyla hesaplanır ve her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan alternatiflerin pozitif-ideal çözüme en yakın negatif-ideal çözüme en uzak mesafede olan alternatifini dikkate alarak sıralanmasını sağlamak ve probleme çözüm getirmektedir.

Pozitif-İdeal Çözüm:

$$A^* = (x_1^*, \dots, x_j^*, \dots, x_n^*)$$

x_j^* değeri, j 'inci kriterin tüm alternatifler için en iyi değerdir.

Negatif-İdeal Çözüm:

$$A^- = (x_1^-, \dots, x_j^-, \dots, x_n^-)$$

4.2. TOPSIS Karar Verme Yönteminin Uygulanması

TOPSIS yöntemi ile karar verme yöntemi aşağıda görüldüğü gibi 11 aşamada açıklanabilir:

4.2.1. Problemin tanımlanması

Bu aşamada karar verme problemi ve karar verme probleminin amacı belirlenir.

4.2.2. Kriterlerin tanımlanması

Bu adımda, karar alma probleminde yer alan alternatif ve kriterler açıklanır. Kriterlerin belirlenmesinde uzman görüşüne başvurulur.

4.2.3. Alternatiflerin belirlenmesi

Bu adımda karar alma probleminin çözümünde seçim veya sıralama yapılacak tüm alternatifler belirlenir.

4.2.4. Karar matrisinin oluşturulması

Yukarıda açıklandığı gibi karar kriterleri ve alternatiflerin bileşiminden oluşan karar matrisi belirlenir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

4.2.5. Karar matrisinin normalleştirilmesi

Karar matrisinin normalleştirilmesi aşamasında, alternatif sayısı(m),kriter sayısı(n) kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi (R) oluşturulur. ve i'inci alternatifin j'inci kriter için normalleştirilmiş değeri r_{ij} ile gösterilir.

R matrisinin r_{ij} değerleri;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}$$

($j=1,2,\dots,n$; $i=1,2,\dots,m$) formülü ile hesaplanır.

Hesaplamalar sonunda R matrisi;

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşturulur.

4.2.6. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Bu aşamada karar matrisinde bulunan kriterlerin uzman kişi veya kişilerin görüşlerine başvurularak belirlenen ağırlıklara göre V matrisi $V=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ şeklinde ifade edilir. w_1, w_2, \dots, w_n kriter ağırlıklarının toplamı 1 olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4.2.7. Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi değerleri (v_{ij}),

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j$$

formülüyle belirtildiği gibi normalleştirilmiş her bir değerin (r_{ij}), kriterlerin ağırlıkları (w_j) ile çarpımı sonucu hesaplanan V matrisi,

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilir.

4.2.8. İdeal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Bu aşamada maksimum v_j , j ' inci kriter değerinin en yüksek olduğu alternatifin tercih edilmesi A^* ideal çözümü verir. Bu çözüme fayda sağlayan A^* ideal çözümü, A^- negatif-ideal çözümü göstermektedir.

4.2.9. Ayırma ölçümünün hesaplanması

Bu aşamada, her bir alternatifin ideal çözümden öklid anlayışına göre uzaklığı S_i^* ile gösterildiği, aşağıdaki formüllerden yararlanılmaktadır.

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

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

4.2.10. İdeal çözüme görece yakınlığın hesaplanması

i alternatifinin ideal çözüme yakınlığı, C_i^* ile gösterilir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

4.2.11. Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler, ideal olan çözüme yakınlığına (C_i^*) göre sıralanır. En iyi alternatif, ideal çözüme en yakın ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafede olandır.

5. UYGULAMA

Makalenin bu bölümünde ulaşılmaması planlanan hedeflere yönelik olarak TOPSIS yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. TOPSIS yöntemi ile HES'lerin kurulum aşamaları ve faaliyete geçme verilerinden faydalanılarak alternatiflerin belirlenmesi söz konusu olmuştur. Bu bağlamda en optimum barajların belirlenmesinde gerçekleştirilen birtakım hesaplamalar yine bu bölümde açıklanmıştır.

5.1. HES için Yer Seçilmesi

Çalışma kapsamında seçilen barajların küçük ve orta büyüklükte olmasına özen gösterilmiştir. Seçilmiş olan barajların hepsi 2000 senesi sonrasında inşa edilmiştir. Çalışmanın tutarlılığı

açısından barajlarda gerçekleştirilecek teknik analiz sonuçlarının birbiriyle benzerlik gösterilmesi hususuna dikkat edilmiştir. Bu bağlamda toplam 17 baraj belirlenmiştir. Bu barajlar alfabetik sıraya göre aşağıdaki gibidir: Aksu Barajı (Erzurum), Berta Barajı (Artvin), Beyhan Barajı (Elazığ), Cizre Barajı (Diyarbakır), Çukurca Barajı (Hakkari), Dilektaş Barajı (Hakkari), Doğanlı Barajı (Hakkari), Eriç Barajı (Erzincan), İvme Barajı (Batman), Kayraktepe Barajı (Mersin), Kemah Barajı (Erzincan), Keskin Barajı (Siirt), Konaktepe Barajı (Tunceli), Pervani Barajı (Siirt), Silopi Barajı (Mardin), Silvan Barajı (Diyarbakır), Yusufeli Barajı (Artvin).

5.2. Kriterlerin Tespit Edilmesi ve Hiyerarşik Yapı Oluşturulması

Bu araştırmada incelenmekte olan HES’ler ile ilişkili olarak toplamda 6 adet kriter belirlenmiştir. Belirlenmiş kriterlerin her birinin HES’ler açısından teknik olarak en önemlisi olması hususuna dikkat edilmiştir. Bu kriterler, kriterlerin birimleri ve kriterleri temsil eden kodlar şu şekildedir;

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kriterler, Birimler ve Kodlar

| KRİTER | BİRİM | KOD |
|---|-----------------------------------|-----|
| Kurulum Gücü | MW | C1 |
| Yıllık Enerji Üretim Kapasitesi | GWh | C2 |
| Net Hidrolik Düşü | Temelden m | C3 |
| Depolama Kapasitesi Alanı (Yüzey Göl Alanı) | Hm ³ / km ² | C4 |
| Türbin (Ünite) Sayısı | | C5 |
| Su Seviyesi | m | C6 |

5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu aşamada seçim veya sıralama yapmak için göz önünde bulundurulması gereken tüm alternatifler karar vericiler tarafından belirlenir.

Tablo 2. Her Bir Kriter İçin Alternatif HES’lerin Hesaplanan Değerleri

| ALTERNATİF (SANTRAL ADI) | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|--------------------------|-----|------|------|------|----|------|
| 1. AKSU | 160 | 136 | 147 | 1,8 | 1 | 1234 |
| 2. BERTA | 147 | 265 | 138 | 7,3 | 2 | 1059 |
| 3. BEYHAN | 582 | 1294 | 97 | 1,3 | 4 | 982 |
| 4. CİZRE | 331 | 1200 | 135 | 3,3 | 6 | 135 |
| 5. ÇUKURCA | 771 | 2164 | 122 | 4,3 | 3 | 122 |
| 6. DİLEKTAŞI | 130 | 316 | 328 | 3,2 | 2 | 1710 |
| 7. DOĞANLI | 770 | 2165 | 375 | 4,3 | 2 | 365 |
| 8. ERİÇ | 283 | 0,8 | 97 | 5,7 | 3 | 564 |
| 9. İVME | 152 | 444 | 187 | 3,5 | 8 | 102 |
| 10. KAYRAKTEPE | 282 | 689 | 90 | 59 | 2 | 124 |
| 11. KEMAH | 198 | 0,57 | 156 | 8,3 | 2 | 650 |
| 12. KESKİN | 318 | 0,90 | 243 | 4,3 | 2 | 189 |
| 13. KONAKTEPE | 201 | 0,58 | 116 | 14,2 | 1 | 352 |
| 14. PERVANİ | 409 | 231 | 154 | 3 | 3 | 254 |
| 15. SİLOPİ | 240 | 1,78 | 79,5 | 2 | 1 | 93 |
| 16. SİLVAN | 160 | 0,68 | 162 | 1,8 | 4 | 235 |
| 17. YUSUFELİ | 540 | 1705 | 196 | 2,1 | 3 | 1430 |

Tablo 3'te gösterilen kriterler ve kriterlerin ağırlıkları karar matrisi haline getirilmiştir. Kriterlerin ağırlıkları önem sırasına göre belirlenmiştir. Her bir kriterin ağırlıklarını burada yazmakta yarar var.

Tablo 3. Kriterlere Dair Ağırlıklar

| KRİTER | KRİTER İSMİ | KARAR PARAMETRESİ | TOPSIS İDEAL ÇÖZÜM HEDEFİ | AĞIRLIĞI |
|--------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------|
| C1 | Kurulu Gücü | Üretim Gücü | Maksimum | 0,30 |
| C2 | Yıllık-Enerji-Üretimi Kapasitesi | Kapasite | Maksimum | 0,30 |
| C3 | Net Hidrolik Düşü | Hidrolik Değer | Maksimum | 0,10 |
| C4 | Depolama Kapasitesi | Depolama | Minimum | 0,10 |
| C5 | Türbin Sayısı | Teknik-Üretim Kapasitesi | Minimum | 0,10 |
| C6 | Su Seviyesi | Su Kapasitesi | Minimum | 0,10 |

Tablo 4. TOPSIS ile Hazırlanmış Olan Karar Matrisi

| ALTERNATİF | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|---------------|-----|------|------|------|----|------|
| 1.AKSU | 160 | 136 | 147 | 1,8 | 1 | 1234 |
| 2.BERTA | 147 | 265 | 138 | 7,3 | 2 | 1059 |
| 3.BEYHAN | 582 | 1294 | 97 | 1,3 | 4 | 982 |
| 4.CİZRE | 331 | 1200 | 135 | 3,3 | 6 | 135 |
| 5.ÇUKURCA | 771 | 2164 | 122 | 4,3 | 3 | 122 |
| 6.DİLEKTAŞI | 130 | 316 | 328 | 3,2 | 2 | 1710 |
| 7.DOĞANLI | 770 | 2165 | 375 | 4,3 | 2 | 365 |
| 8.ERİÇ | 283 | 0,8 | 97 | 5,7 | 3 | 564 |
| 9.İVME | 152 | 444 | 187 | 3,5 | 8 | 102 |
| 10.KAYRAKTEPE | 282 | 689 | 90 | 59 | 2 | 124 |
| 11.KEMAH | 198 | 0,57 | 156 | 8,3 | 2 | 650 |
| 12.KESKİN | 318 | 0,9 | 243 | 4,3 | 2 | 189 |
| 13.KONAKTEPE | 201 | 0,58 | 116 | 14,2 | 1 | 352 |
| 14.PERVANİ | 409 | 231 | 154 | 3 | 3 | 254 |
| 15.SİLOPİ | 2,4 | 1,78 | 79,5 | 2 | 1 | 93 |
| 16.SİLVAN | 160 | 0,68 | 162 | 1,8 | 4 | 235 |
| 17.YUSUFELİ | 540 | 1705 | 196 | 2,1 | 3 | 1430 |

TOPSIS işlem basamakları ile elde edilmiş olan değerler hesaplanmış olan negatif ve pozitif ideal çözüm değerleri eksenindeki S^- ve S^+ olarak ifade edilen uzaklık dereceleri ile hesaplanmıştır. Yine aynı doğrultuda -1 ve $+1$ olarak yakınlık dereceleri hesaplanmış ve en ideal çözüme ve de alternatife erişilmiştir. Bu ekseninde tüm alternatifler bu verilere ve işlem aralıklarına göre belirlenmiştir. TOPSIS işlem basamakları uygulandığında ortaya çıkan yakınlık ve uzaklık değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. İdeal Çözümüne Göre Alternatiflerin Yakınlık ve Uzaklık Değerleri

| ALTERNATİF | Si+ | Si- | Pi | SIRALAMA |
|---------------|---------|---------|---------|----------|
| 1.AKSU | 0,41945 | 0,05340 | 0,11292 | 13 |
| 2.BERTA | 0,37942 | 0,08322 | 0,17989 | 10 |
| 3.BEYHAN | 0,17731 | 0,27216 | 0,60551 | 4 |
| 4.CİZRE | 0,22462 | 0,23386 | 0,51007 | 5 |
| 5.ÇUKURCA | 0,10458 | 0,43155 | 0,80493 | 2 |
| 6.DİLEKTAŞI | 0,36805 | 0,12379 | 0,25169 | 7 |
| 7.DOĞANLI | 0,08450 | 0,43355 | 0,83689 | 1 |
| 8.ERİÇ | 0,42469 | 0,06044 | 0,12459 | 12 |
| 9.İVME | 0,35913 | 0,08897 | 0,19856 | 8 |
| 10.KAYRAKTEPE | 0,31087 | 0,13971 | 0,31007 | 6 |
| 11.KEMAH | 0,42707 | 0,05156 | 0,10773 | 14 |
| 12.KESKİN | 0,42681 | 0,06299 | 0,12860 | 11 |
| 13.KONAKTEPE | 0,43056 | 0,04093 | 0,08680 | 15 |
| 14.PERVANİ | 0,38205 | 0,08887 | 0,18872 | 9 |
| 15.SİLOPİ | 0,44491 | 0,00025 | 0,00056 | 17 |
| 16.SİLVAN | 0,43364 | 0,03256 | 0,06984 | 16 |
| 17.YUSUFELİ | 0,10124 | 0,34650 | 0,77388 | 3 |

Hesap edilmiş değerlere göre Tablo 5’te en ideal seçeneklere yer verilmiştir. Bu tablo doğrultusunda bir sıralama yapılmış ve HES’ler için en ideal çözümler tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda 1-Doğanlı, 2-Çukurca, 3-Yusufeli ve 4-Beyhan barajlarının HES yeri seçimi için en ideal değerlere sahip olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırma ekseninde toplamda 17 adet orta ve küçük ölçekli HES’ler belirlenmiştir. Bu HES’lerin hepsi son 20 sene içerisinde inşa edilmiş olan yapılardır. TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiş olan araştırmada toplamda 6 kriter belirlenmiş ve çalışma bu kriterlere göre yapılmıştır. HES’ler için belirlenmiş olan kriterler içerisinde en önemlilerinin kurulum güçleri, yıllık enerji üretme kapasitesi ve net hidrolik düşüleri olduğu tespit edilmiştir.

HES’ler çerçevesinde kurulum güçleri bağlamında analiz gerçekleştirildiğinde en yüksek düzeye sahip olan barajların Çukurca, Doğanlı ve Beyhan olduğu tespit edilmiştir. Yıllık olarak üretim kapasiteleri perspektifinden bakıldığında da Çukurca, Doğanlı ve Beyhan barajlarının üst seviyede olduğu görülmektedir.

Net hidrolik düşüleri analiz edildiğinde ise en yüksek değere sahip barajların Doğanlı, Dilektaş ve Keskin olduğu verisine ulaşılmıştır. Elde edilen veriler analiz edildiğinde HES’lerin sahip olduğu net hidrolik düşülerinin genellikle 100 ya da 100’den daha fazla bir değere sahip oldukları görülmektedir. Araştırma bağlamında elde edilen verilere göre yalnızca tek bir santralin küçük ölçekliler sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir. Bu santral ise Silopi’dir. TOPSIS yöntemi ile yapılmakta olan altı aşamalı uygulamada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kuruluş aşaması en iyi şekilde gerçekleştirilen ve de en verimli biçimde işlerliği olan barajların üst seviyeden başlamak kaydıyla sırasıyla Doğanlı, Çukurca, Yusufeli, Beyhan ve Cizre olduğu görülmüştür.

En etkin alternatiflerin ise büyük ölçekli HES'ler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İncelenmiş olan HES'lerin ebatları değerlendirildiğinde ölçek olarak büyük olan HES'lerin yüzölçümleri ve kapasiteleri ile verimliliğin doğru orantılı olarak pozitif yönde hareketlilik gösterdiği anlaşılmıştır.

Özetle; çalışma kapsamında incelenmiş olan HES'lerin teknik olarak tespit edilen özellikleri ile yıllık üretim kapasitesi ve verimliliklerinin daha yüksek değerlerde sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ancak, incelenmekte olan barajların tek kıstası kapasite ve verimlilik değildir. Çalışma içerisinde olan 6 kriterin de incelenmesi gerekliliği söz konusudur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda finansal çıktıları alınması önerilmektedir. Çünkü çalışmanın finansal açıdan yapılması, mali tablolar ile verimlilik analizlerinin de somut çıktılarının ortaya konulacağı anlamını taşımaktadır. Nitekim spesifik olarak finansal çıktılarla çalışmanın genişletilebilmesinin yolu da açıktır. Finansal perspektiften bir incelemenin yapılması mali tablolarla verimlilik analizlerinin somut çıktıları gözler önüne sermek anlamı taşımaktadır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Semra ALBAYRAK fikir, araştırma, veri toplama, analiz, yorum ve kaynak taraması makalenin yazımı üzerine katkıda bulunmuştur. Münevver TURANLI analiz, yorum ve eleştiri üzerine makalenin geliştirilmesi konusunda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmanın araştırmasına katkı sağlayan Sayın Ünal Halit ÖZDEN ve Muhammet CEYLAN'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.

Aslay, F. (2021). TOPSİS çok kriterli karar verme yöntemi ile güneş enerjisi sistemlerinde panel seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 548- 551.

Bayazıt, Y. (2013). *Seydisuyu Havzasının hidroelektrik potansiyelinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.

Derse, O. & Yontar, E. (2020). SWARA-TOPSIS yöntemi ile en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(3), 389-419.

Gündoğan, K., & Borat, O. (2021). Çelik yapıda kullanılan endüstriyel boya için AHP ve TOPSİS yöntemleri uygulanarak yapılan tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(40), 162-177.

IHA. (2020). Türkiye'de hidroelektrik enerji santralleri. <https://www.hydropower.org/country-profiles/turkey> adresinden 22 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Koçak, A., Yazılım seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi yaklaşımı ve bir uygulama, *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 3(1), 67-77.
- Özden, Ü. H. (2009). Türkiye’de ki mevduat bankalarının performansları: Çok kriterli karar verme yöntemleri ile analiz. *Detay Yayıncılık*. Ankara.
- Şekkeli, M., & Keçecioglu, Ö. (2011). Hidroelektrik santrallerin Türkiye’deki gelişimi ve Kahramanmaraş bölgesi örnek çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 19-26.
- TSKB. (2020). Hidroelektrik enerji santrallerinin değerlendirilmesi. <https://www.tskb.com.tr/tr/arama-sonuc?search=HES>. adresinden 21 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Twidell, J. & Weir, T. (2015). Renewable energy resources. *Routledge. E. F.N. Spon*, London.
- Turanlı, M. (1988). Pazarlama Yönetiminde Karar alma. *İstanbul Beta Basım*. İstanbul.
- Uludağ, A. S. & Doğan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 17-48.
- USGS.(2012).Hydroelectric power water use. https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects adresinden 21 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.



MASTER SLAVE PHASE SYNCHRONIZATION METHOD WITH XOR AND PHASE/FREQUENCY DETECTOR PLL

XOR VE FAZ/FREKANS DEDEKTÖR PLL İLE MASTER-SLAVE FAZ SENKRONİZASYON METODU

Zeynep KAPLANOĞLU ÇANTI¹

Serhan YARKAN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1008028>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
zeynepkaplanoglu@gmail.com

Received / Geliş Tarihi
14.10.2021

Accepted / Kabul Tarihi
26.01.2022

Abstract

Phase-locked loop (PLL) is a technique which has contributed significantly toward the technology advancement in communication. Phase and frequency synchronization problems have been present in electronic engineering since the first coherent modulation systems were developed. This paper gives basic details of PLL. It provides brief summary of the basic PLL principle applicable to control systems and digital communication. It also reports components of PLL and comparison among them. PLLs are responsible for recovering the correct time basis and synchronizing the processes. According to the application needs, different clock distribution strategies were developed, with the master-slave being the simplest and most used choice. PLL techniques is chosen for synchronization, since it is one of the most active synchronization techniques. This article contains Simulink of the MATLAB, simulation method and circuit design and mathematical solutions to synchronize PLL.

Keywords: Charge pump, phase locked loop, phase/frequency detector, voltage controlled oscillator, XOR phase detector.

Öz

Faz kilitli döngü (PLL), iletişimde teknolojinin ilerlemesine önemli ölçüde katkıda bulunan bir tekniktir. İlk uyumlu modülasyon sistemleri geliştirildiğinden beri elektronik mühendisliğinde faz ve frekans senkronizasyon sorunları mevcuttur. Bu makale, PLL'nin temel ayrıntılarını vermektedir. Kontrol sistemleri ve dijital iletişim için geçerli olan temel PLL ilkesinin kısa bir özetini sağlar. Ayrıca PLL bileşenlerini ve bunlar arasındaki karşılaştırmayı da bildirir. PLL'ler, doğru zaman esasını kurtarmaktan ve süreçleri senkronize etmekten sorumludur. Uygulama ihtiyaçlarına göre, master-slave en basit ve en çok kullanılan seçim olmak üzere farklı saat dağıtım stratejileri geliştirildi. Senkronizasyon için en aktif senkronizasyon tekniklerinden biri olduğu için PLL teknikleri seçilmiştir. Bu makale, MATLAB'ın Simulink'i, simülasyon yöntemi ve devre tasarımı ve PLL'yi senkronize etmek için matematiksel çözümler içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Faz kilitli döngü, faz/frekans dedektörü, şarj pompası faz kilitli döngü, voltaj kontrollü osilatör, XOR Faz dedektörü.

¹This publication was produced from the Master thesis of Zeynep KAPLANOĞLU ÇANTI the Electronics and Communication Engineering Program of Istanbul Commerce University, Institute of Science and Technology.

¹İstanbul Commerce University, Graduate School of Naturel and Applied Sciences, Department of Electronics and Communication Engineering, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
zeynepkaplanoglu@gmail.com, Orcid.org/0000-0003-2106-5850.

²İstanbul Commerce University, Engineering Faculty, Department of Electronics and Communication Engineering, Küçükalyalı, İstanbul, Türkiye.
syarkan@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-6430-3009.

1. INTRODUCTION

Phase locking is a powerful technique that can be used to create effective solutions in a variety of applications. This study looked into MIMO systems since they are employed in a wide range of electronic warfare and radar applications. Many studies have looked into various methods of PLL phase synchronization in order to meet the needs of combining numerous software-defined radios into a suitable multi-channel receiver (Hsieh & Hung, 2006). Because of its ability to enhance data rates or improve system performance through multiplexing, multiple-input multiple-output (MIMO) technologies are gaining a lot of attention. Generally speaking, a Phase Locked Loop (PLL) is a feedback-based circuit that produces a signal that replicates its input signal (which is typically a sinusoidal signal of variable frequency) in frequency by locking in to and continuously adjusting its phase difference with the input signal (which is usually a sinusoidal signal of variable frequency). The Phase-Locked Loop circuit is composed of three main parts: a phase detector, a low pass filter, and a voltage-controlled oscillator.

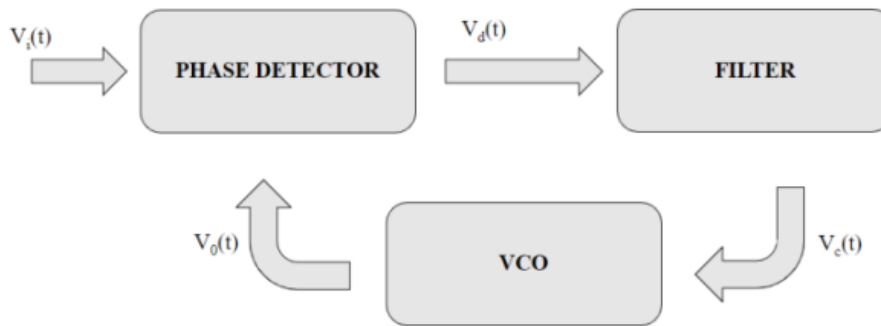


Figure 1. PLL Block Diagram

Additionally, a phase-locked loop (PLL) with a divider circuit in its feedback path can be used to multiply the frequency of an input signal. The PLL has received extensive research and is frequently used in communication circuits. A frequency multiplying PLL was chosen for the research topic due to its potential for additional uses such as modulation and demodulation. To generate stable frequencies or to recover a signal from a noisy communication channel, phase-locked loops are widely used in radio, telecommunications, computers, and other electronic applications. If the phase error of a phase-locked loop with the architecture shown in Figure 1 is less than the time interval (t_1, t_2) , the loop is in a phase synchronous state (Piqueira, 2020). To synchronize this transformation with the input signal's fundamental frequency, the phase angle must be known and should be zero (De Brabandere & Loix, 2006). Temperature, thermal expansion, incompatible cable lengths, unrelated phase noise, ADC sample clock, and phase noise all cause shifts, and research are conducted to find answers to these issues. φ is the phase difference between input and output. θ_i is the input phase which come from the input source θ_o is the output phase which created from VCO. Phase difference formula is given in equation 1.

$$\varphi = \theta_i - \theta_o = 0, \forall t \in (t_1, t_2) \quad (1)$$

After small perturbations, the model in a locked state approaches the same locked state (of the VCO phase, input signal phase, and filter state) (Leonov & Kuznetsov, 2015).

2. PLL DESIGN

PLL is primarily a servo system that controls the phase of its output signal in such a way that the phase error between output phase and reference phase is minimized. Figure 1 depicts the functional block diagram of a PLL, which consists of a phase detector (PD), a loop filter (LF), and a voltage-controlled oscillator (VCO) (Hsieh & Hung, 2006).

2.1. Phase Detector

There are numerous circuits that can be used as phase detectors, some of which employ analogue techniques, while others employ digital circuitry. However, the critical distinction is whether the phase detector is sensitive to only phase or to both frequency and phase. The generation of an output signal as a result of the phase difference of the input signals is defined as the operation of an ideal phase detector. PD generates an error signal proportional to the phase error, that is, the difference in the phases of the phase-locked loop's input and output signals. The three primary PLL applications are analog PLL, digital PLL, and all-digital PLL. In this study, master-slave synchronization is accomplished using an XOR phase detector and a phase/frequency detector. In a single-phase off-nominal frequency operation and in a three-phase unbalanced situation, the PLL technique eliminates the source of error. The PLL is not window-based, and thus there are no corrections or windowing issues (Karimi & Bakhshai, 2010).

2.1.1. XOR phase detector

A convenient method is to employ an XOR gate, a type of digital logic gate and given in figure 2. Thus, the sinusoidal waveform is first converted to a square wave (compatible with the digital logic). The comparator is based on the XOR gate and has two inputs. When both inputs are at the same level, either low or high, the XOR gate outputs logic 0. When one of the inputs is high and the other is low, it outputs a logic 1 signal.

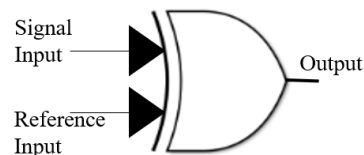


Figure 2. XOR Phase Detector

The disadvantages of this approach are that it is phase limited ($-90, +90$) degrees and does not sense signal edges (Lata & Kumar, 2013). Unlike an analog mixer, KPD is not affected by the amplitude of the input signal and remains constant over a phase range. The XOR PD is duty cycle sensitive and will lock with a phase error if the input duty cycle is not 50%. The width of the output pulses varies according to the phase difference between the inputs, providing DC voltage to the VCO's input (Pawar & Shobba, 2017).

2.1.2. Phase / Frequency detector

The Phase Frequency Detector enables a wide range of frequency locking, potentially the entire tuning range of the VCO.

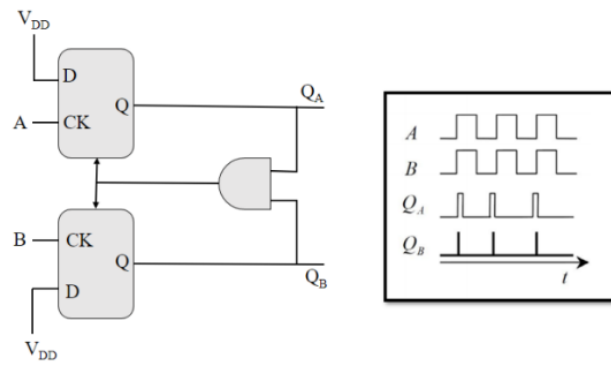


Figure 3. Phase Frequency Detector

The frequency of the VCO must be increased to match the input and schematic version is given in figure 3. Similarly, when the VCO input (B) switches to the high position, the QB output increases (Ayat & Babei, 2010).

2.1.3. PFD and charge pump PLL

The phase error information provided by PFD is converted into a voltage by the charge pump with the loop filter. A charge pump PLL circuit is shown in Figure 4. It is formed by two current sources, which are I_{up} and I_{dn} , as well as a switch for each current source. Before it reaches the VCO, the charge pump's current output is filtered by a low pass filter. The PFD architecture is completely dead zone-free, uses very little power, and operates at a high frequency (Majeed & Abdul, 2013).

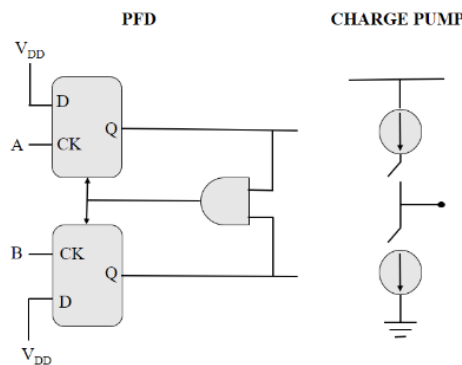


Figure 4. Charge Pump PFD

2.2. Loop Filter

The dynamic behavior of a Phase Locked Loop is determined by the Loop Filter and its transfer function is $F(s)$. The phase detector is the loop filter's input, and the VCO control voltage is the loop filter's output. Basic loop filter is given in figure 5. The PLL filter is required to filter out any undesired high-frequency components that may pass through the phase detector and into the VCO tune line. The filter has an impact on the loop's ability to change frequencies quickly. If the filter has a low cut-off frequency, the changes in tune voltage will be slow, and the VCO will be unable to change its frequency as quickly. If the filter is not designed properly, oscillations can form around the loop, resulting in large signals on the tune line.

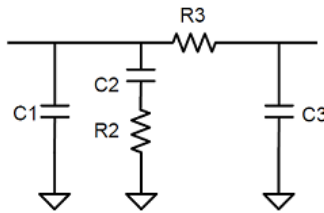


Figure 5. Loop Filter Schematic

Loop filter transfer function is given in Equation 2.

$$Z(s) = \frac{R2 \cdot C2 \cdot s + 1}{A3 \cdot s^3 + A2 \cdot s^2 + A1 \cdot s} \quad (2)$$

$$A1 = C1 + C2 + C3$$

$$A2 = (R2 \cdot C2 \cdot C3) + (R2 \cdot C1 \cdot C2) + (R3 \cdot C3 \cdot C1) + (R3 \cdot C3 \cdot C2)$$

$$A3 = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot R2 \cdot R3$$

$Z(s)$ is the transfer function of the loop filter. Loop filter is a passive filter so $R2$ and $R3$ are a resistor. $C1$, $C2$ and $C3$ are the capacitor of loop filter. $A1$, $A2$ and $A3$ are the simplified version of the loop filter equation. In some applications, very precise transient responses are required. Higher-order filters can be used to improve PLL performance in these cases, resulting in nonlinear loops with orders greater than two. Such systems are not investigated here because nonlinear terms can cause undesirable behaviors such as error oscillation and chaos, which reduce the synchronization ranges, depending on parameter value combinations (Piqueira & Caligares, 2007).

2.3 Voltage Controlled Oscillator

The voltage controlled oscillator is the third block, which is a positive feedback amplifier (VCO). The VCO produces simultaneous square and triangular wave outputs (Li & Han, 2017), which change in response to the input control voltage (created by the loop filter) until the two frequencies are equal. Basic voltage controlled oscillator schematic is given in figure 6. As a result, the loop must first tune the VCO frequency to the input frequency. Frequency pull-in is the term for this process. The VCO phase must then be adjusted to match the input phase. Phase lock-in is the term for this procedure. Frequency pull-in and phase lock-in are both parts of acquisition, which is a highly nonlinear and difficult to analyze process. The PLL achieves the phase-locked condition after acquisition, in which it tracks the input phase. The VCO frequency is equal to the input frequency in this phase-locked condition.

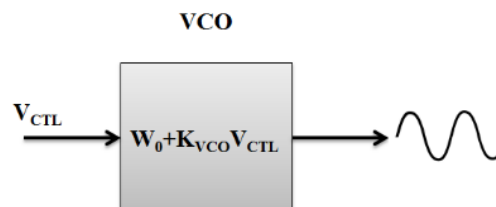


Figure 6. Voltage Controlled Oscillator

Phase stability, large frequency deviation, high modulation sensitivity K_v , frequency linearity versus control voltage, and the ability to accept wide-band modulation are the main requirements for the VCO. All four requirements are in direct opposition to the phase stability requirement

(Hsieh & Hung, 2006). Because the VCO frequency of the larger division ratio oscillates thousands of times per second, while the frequency of the reference oscillator is only a few hertz, simulating the dynamic behavior of the PLL circuit with a transient model is a slow process that takes a long time and a lot of resources. In order to avoid this problem, behavior simulation of the PLL circuit based on a mathematical model has been widely used (Li & Wu, 2017).

3. PLL IMPLEMENTATION

3.1. PLL Implementation with XOR Phase Detector

Assuming logic 1="+1" and 0="-1", the XOR PD will lock when the average output is 0. Generally, $\pi/2$ is a stable lock point and $-\pi/2$ is a metastable point Sensitive to clock duty cycle. Below is the Simulink schematic created using the XOR phase detector. Simulink implementation of the XOR detector and PLL is given in figure 7. The Power Spectral Density Estimate graph of this system is given in Figure 8.

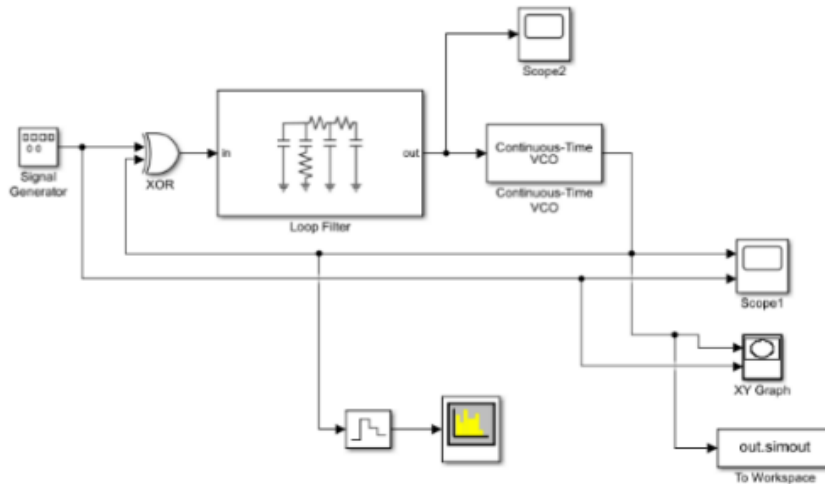


Figure 7. PLL Implementation with XOR Phase Detector

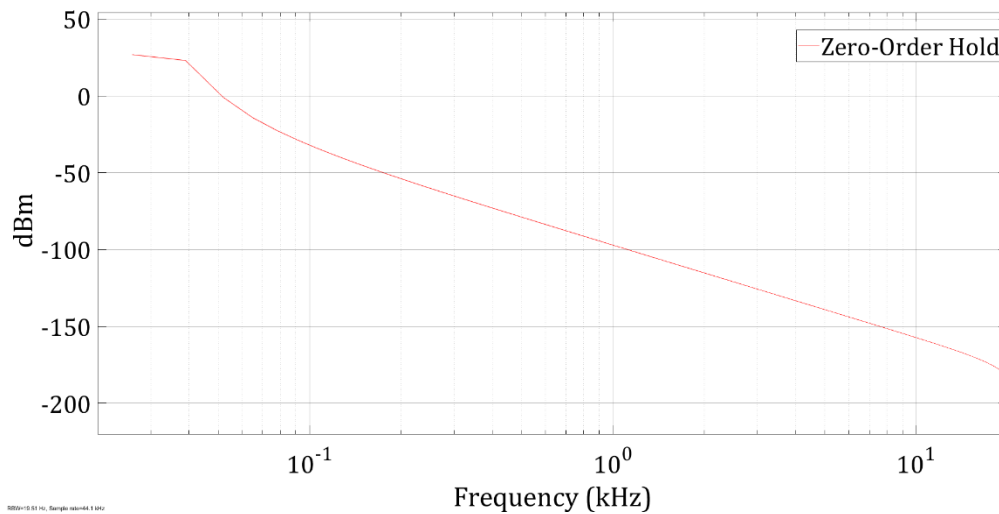


Figure 8. Power Spectral Density Estimation for XOR Phase Detector

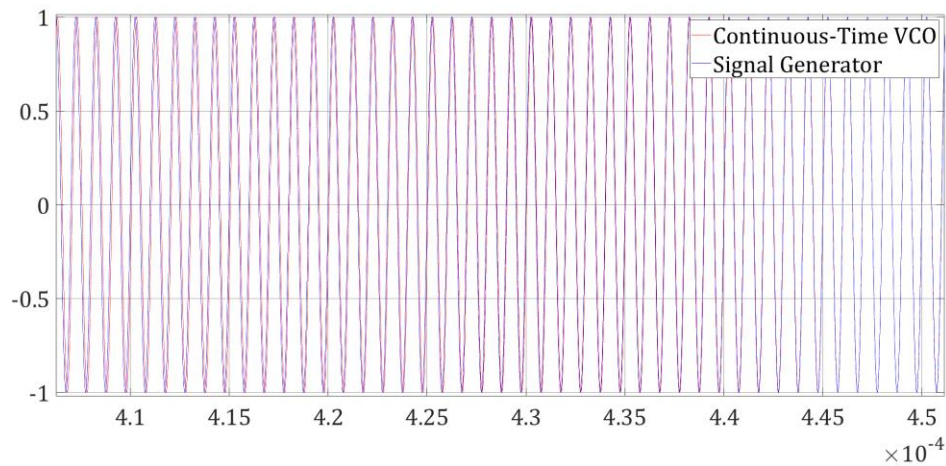


Figure 9. VCO and Input (Signal generator) Result at The Scope

3.2 PLL Implementation with Phase/Frequency Detector and Charge Pump

By comparing the phases of input signals, this PFD detects frequency differences. The clock edges of input signals detect a phase difference. This charge pump consists of two switched current sources that, depending on the PFD output, pump charge into or out of the loop filter. When the feedback signal precedes the reference, the PFD detects a rising edge on the reference frequency and generates a UP signal (Kailuke & Agrawal, 2014). Control pulses (typically referred to as UP and DOWN) generated by the phase detector drive the charge pump; the width of the UP and DOWN pulses is determined by the phase difference between the reference input and the internal VCO-derived signal. Detailed Simulink diagrams for PFD are shown in Figure 10 below. The PFD and charge pump are employed in this design. The VCO was implemented as a continuous VCO.

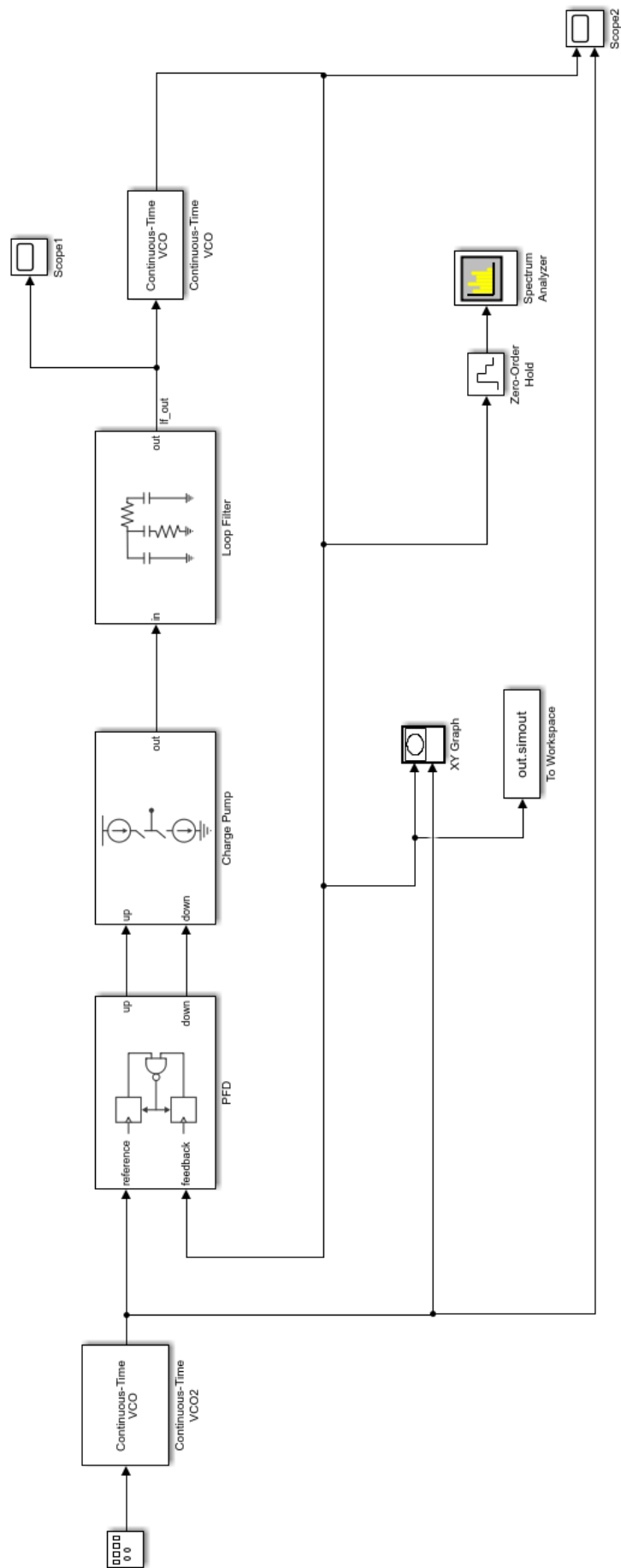


Figure 10. PLL Implementation with PFD and Charge Pump

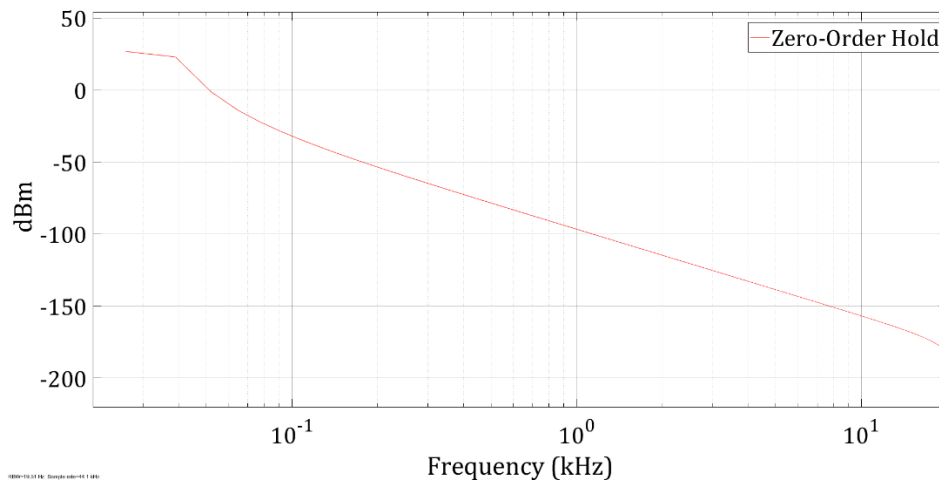


Figure 11. Power Spectral Density Estimation for Charge pump PFD Detector

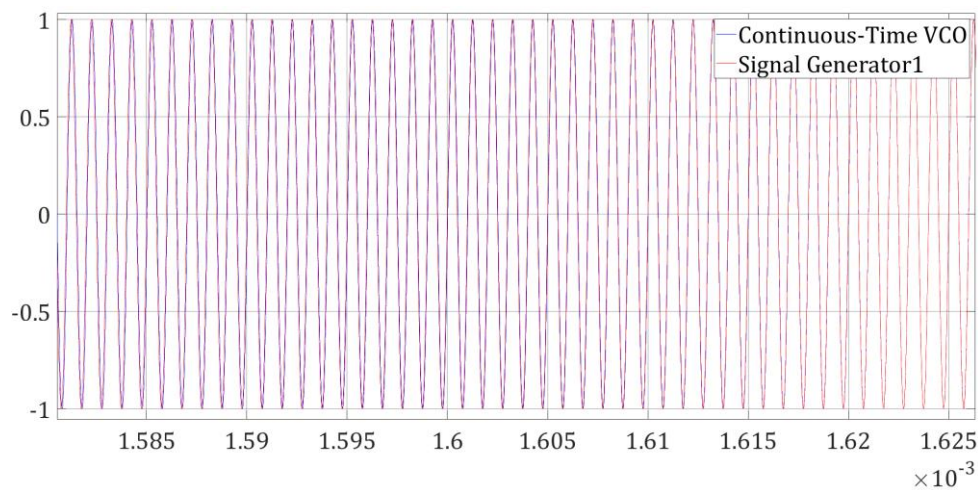


Figure 12. VCO and Input (Signal generator) Result at The Scope

4. SYNCHRONIZATION METHOD

When using master-slave in a test system, this high phase stability can be achieved (Piqueira, 2020). In this application, the master-slave method is used to synchronize. When using this method, the slave accepts the first VCO output master as an input, and the input is thus synchronized with the signal generator. For the PLL created with two different phase detectors, this synchronization method was tried. XOR phase detector and Phase/frequency detector are the two types. This research makes use of MATLAB Simulink. The results are presented in the form of a graph and a table below. If the natural frequencies aren't identical, the phases may not be synchronized, necessitating the use of additional optimization techniques (Hsieh & Hung, 2006).

4.1 Master-Slave Synchronization

The XOR and PFD PLL types are used to investigate master-slave synchronization architectures, using the model presented in which a phase detector compares the phases of two periodic signals, one coming from the outside, with being the phase of $v_i(t)$, and the other, from an internal oscillator, with θ_0 being the phase of $v_0(t)$, with the output $v_d(t) = v_i(t) \cdot v_0(t)$ (Piqueira, 2020). In telecommunication networks with single-chain master-slave clock

distribution architecture, the existence and stability conditions for the synchronous state are determined (Monteiro & Santos, 2003).

4.1.1 XOR phase detector and master –slave implementation

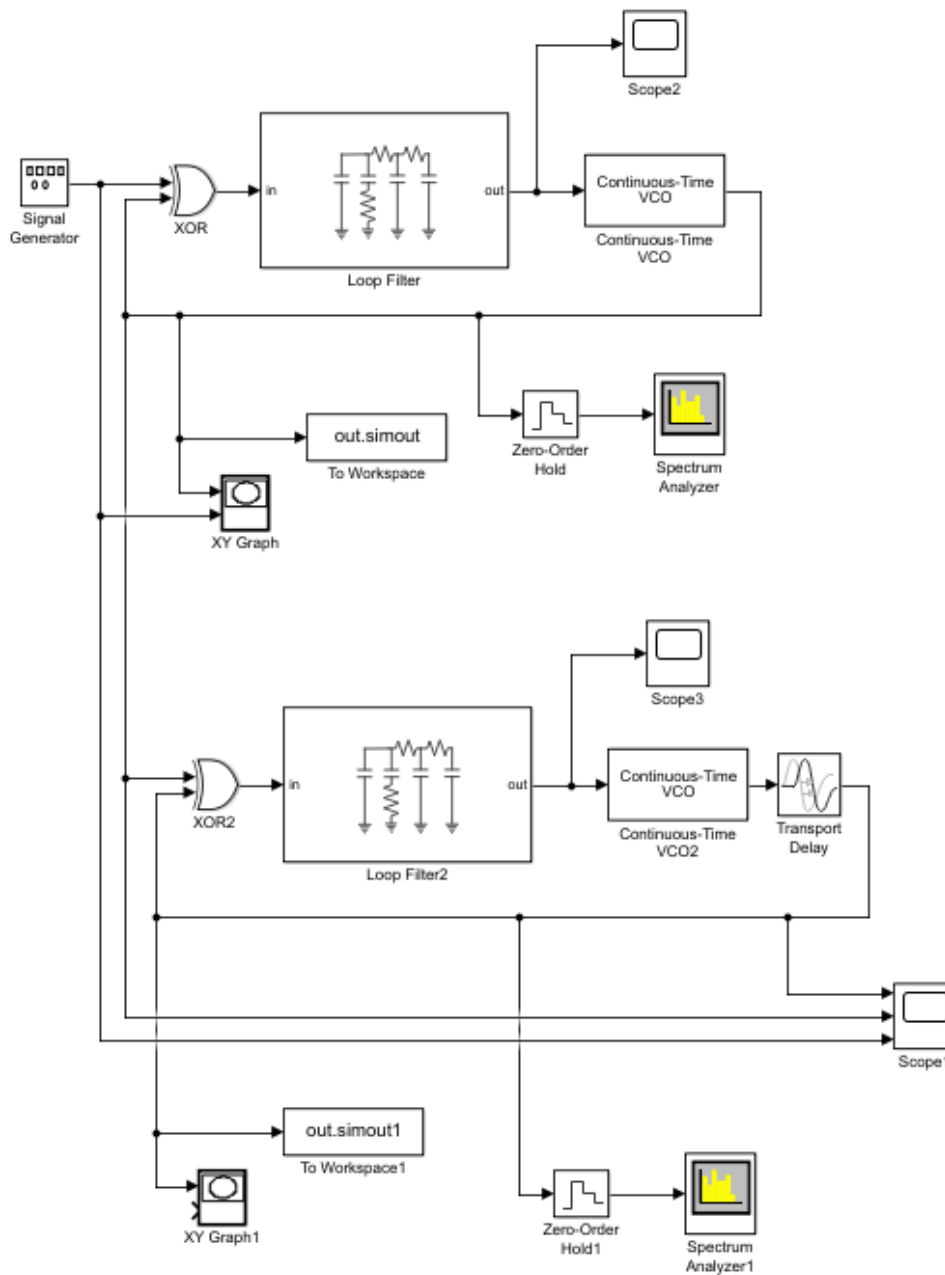


Figure 13. Master –Slave Implementation with XOR Phase Detector

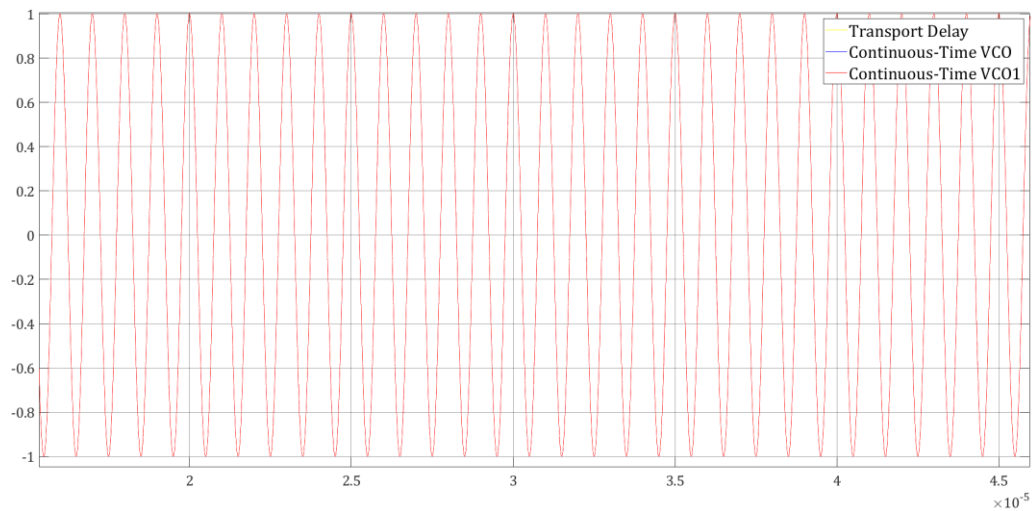


Figure 14. Master and Slave VCO and Input (Signal generator) Result at The Scope

Figure 13 shows the master-slave application of the system created with the XOR phase detector. Figure 14 shows the result of this system, which uses the output of the first VCO as the input of the other PLL. The results of the first input master VCO and slave VCO are shown in this diagram.

4.1.2 Phase/Frequency detector and charge pump master –slave implementation

With many different possible designs available for PFD a Master-Slave topology was found to be one of the best for this implementation. For the master-slave application, the VCO output of the first system is taken as the input for the other PLL. The Simulink scheme of this system is given in figure 15 below.

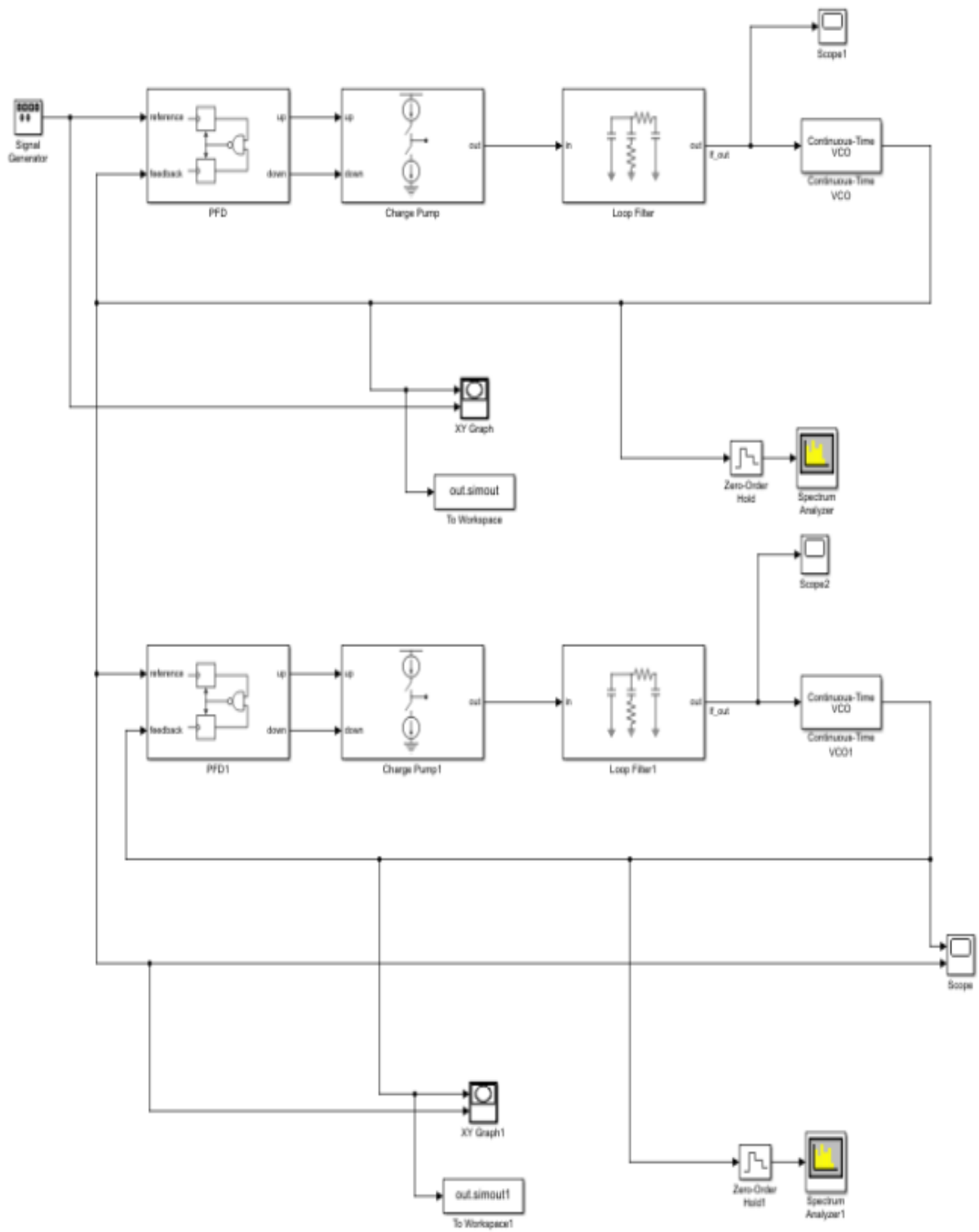


Figure 15. Master –Slave Implementation with PFD and Charge Pump

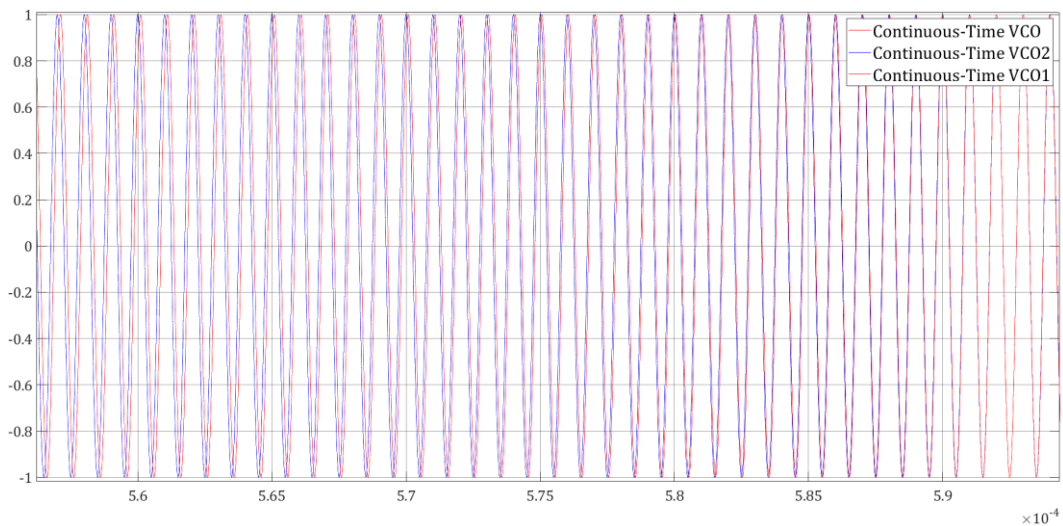


Figure 16. Master and Slave VCO and Input (Signal generator) Result at The Scope

Figure 15 shows the result of this system, which uses the output of the first VCO as the input of the other PLL. The results of the first input master VCO and slave VCO are shown in this diagram. It can also be used for PFD and charge pump master-slave synchronization, as can be seen in figure 16.

5. CONCLUSIONS

This paper provides an overview of the PLL technique, which is used for master-slave synchronization. The graphs also show the results of the PLL technique and the master-slave relationship. MATLAB-Simulink was used to present and report detailed block schematics. A detailed comparison of all the blocks has been reported. According to the advantages of an XOR phase detector that is sensitive to both the clock duty cycle and the input duty cycle, it can lock with a phase error if the input duty cycle is less than 50%. It is not sensitive to edges, according to the disadvantages. The Phase Locked Loop (PLL) is a key circuit that is often utilized in many types of demodulation circuits. PLL is utilized in defensive systems in high-end applications. In general, PLL operates by comparing the input signal to the frequency of an oscillating signal. PLL is used in defense systems to track the target frequency (assumed to be in the frequency range when the missile is fired). PLL, which is utilized in a variety of applications including radar, can be employed in conjunction with these studies in radar applications. As a result, data may be lost, and it detects only phase differences between inputs, not frequency differences. One of the benefits of a PFD charge pump is that it detects both phase and frequency differences between input and output. The PFD is not affected by the input duty cycle. When the connection between PLL and frequency is examined the phase-locked loop allows for the generation of steady high frequencies from a low-frequency reference. The PLL approach can help any system that requires stable high frequency tuning. Wireless basestations, wireless handsets, pagers, CATV systems, clock-recovery and -generation systems are examples of these uses. A GSM cellphone or base station is a nice example of a PLL application. It can be worked for different frequency applications in PLL applications by looking at the examples above. In addition, future studies will use and test the relationship between PLL and frequency, as well as its implementation in various applications.

Contribution of The Authors

Contributions of authors to the article are equal.

Acknowledgement

Authors thanks to The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) since it provided working environment during the study.

Statement of Interest Conflict

There is no interest confliction between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publishing ethics are taken into account in this study.

REFERENCES

- Ayat, M., Babaei, B., Atani, R. E., Mirzakuchaki, S. & Zamanlooy, B. (2010, April, 11-14). Design of a 100MHz – 1.66GHz, 0.13 μ m CMOS phase locked loop. *2010 International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications*, Malaysia, 154-158. <https://doi.org/10.1109/icedsa.2010.5503082>.
- De Brabandere, K., Loix, T., Engelen, K., Bolsens, B., Van den Keybus, J., Driesen, J. & Belmans, R. (2006, November, 6-10). Design and operation of a phase-locked loop with Kalman estimator-based filter for single-phase applications. *IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*, Paris, 525-530. <https://doi.org/10.1109/iecon.2006.348099>.
- Guan-Chyun, H. & Hung, J. (1996). Phase-locked loop techniques. A survey. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(6), 609-615. <https://doi.org/10.1109/41.544547>.
- Kailuke, A. C., Agrawal, P. & Kshirsagar, R. (2014, January, 9-11). Design of phase frequency detector and charge pump for low voltage high frequency PLL. *2014 International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies*, India, 74-78. <https://doi.org/10.1109/icesc.2014.21>.
- Karimi-Ghartemani, M., Ooi, B. & Bakhshai, A. (2011). Application of enhanced phase-locked loop system to the computation of Synchrophasors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(1), 22-32. <https://doi.org/10.1109/tpwr.2010.2064341>.
- Lata, K., & Kumar, M. (2013). ALL digital phase-locked loop (ADPLL): A survey. *International Journal of Future Computer and Communication*, 1(10). 551-554. <https://doi.org/10.7763/ijfcc.2013.v2.225>.
- Leonov, G. A., Kuznetsov, N. V., Yuldashev, M. V. & Yuldashev, R. V. (2015). Hold-in, pull-in, and lock-in ranges of PLL circuits: Rigorous mathematical definitions and limitations of classical theory. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 62(10), 2454-2464. <https://doi.org/10.1109/tcsi.2015.2476295>.
- Li, L., Wu, X. & Han, J. (2017). Design of 4GHz CMOS charge-pump phased-locked loop based on the Simulink behavioral simulation. *Proceedings of the 2017 2nd International Conference on Automation, Mechanical and Electrical Engineering (AMEE 2017)*, 70-73. <https://doi.org/10.2991/amee-17.2017.14>.

- Majeed, K. A. & Kailath, B. J. (2013). A novel phase frequency detector for a high frequency PLL design. *Procedia Engineering*, 64, 377-384. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.110>.
- Monteiro, L., Dos Santos, R. & Piqueira, J. (2003). Estimating the critical number of slave nodes in a single-chain PLL network. *IEEE Communications Letters*, 7(9), 449-450. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2003.817322>.
- Pawar, S.N., & Mane, P.B. (2017, December, 1-2). Wide band PLL frequency synthesizer: A survey. *2017 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, India, 1-6. <https://doi.org/10.1109/icac3.2017.8318773>.
- Piqueira, J.R. (2020). Master-slave Topologies with phase-locked loops. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2020, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/2727805>.
- Piqueira, J.R., Caligares, A.Z. & Monteiro, L.H. (2007). Double-frequency jitter figures in master-slave PLL networks. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 61(10), 678-683. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2007.01.004>.



Araştırma Makalesi / Research Article

**BIYOFİLİK TASARIM KRİTERLERİNİN MEKANLAR ÜZERİNDEN
DEĞERLENDİRİLMESİ***

AN EVALUATION OF BIOPHILIC DESIGN CRITERIAS IN PLACES

Hazel İrem İRFANOĞLU¹

Leyla SURI²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1115254>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
hazelirfanoglu@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received
11.05.2022

Kabul Tarihi / Accepted
07.06.2022

Öz

Günümüzde kat yükseklikleri artan ve kullanım alanları küçülen yaşam alanları zamanın büyük çoğunluğunun geçirildiği iç mekanlardır. Yeni normal hayat anlayışı ile bu durum tercihten çok zorunluluk haline gelmiş ve doğa ile olan faydalı temas kaçınılmaz olarak engellenmiştir. Biyofilik tasarım yalnızca işlevsel ve görsel disiplin değil, aynı zamanda zihinsel refahı da sağlayan bir tasarım anlayışıdır. Buradan hareketle çalışmada insan hayatı ve insan bedeni üzerindeki etkilerinden yola çıkarak biyofilik tasarımın ne denli önemli olduğu vurgulanmış, günümüzün doğa açısından kısıtlanmış mekanlarını doğayla buluşturmanın insan ve toplum açısından önemine değinilmiş ve yapının içinde bulunduğu çevre ve iç mekânda biyofilik tasarım kriterlerinin uygulanmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyofilik tasarım, doğal malzeme, iç ve dış mekânda biyofilik tasarım, mekân ve doğa, modern yaşamda tasarım.

Abstract

Today, living spaces with higher floors and smaller field of use are the interior places where people's time is mostly spent. With the new understanding of normal life, this situation has become a necessity rather than a choice, and beneficial contact with nature has inevitably been prevented. Biophilic design is not only a functional and visual discipline, but also a design approach that provides mental well-being. From this point of view the importance of biophilic design was emphasized based on its effects on human life and body, importance of bringing places that are limited by the standards of nature together with nature for human and society, and necessity of applying biophilic design criteria in the environment and interior spaces which the building is in was highlighted.

Keywords: Biophilic design, biophilic design for indoor and outdoor, design in modern life, natural materials, place and nature.

*Bu yayın Hazel İrem İRFANOĞLU isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. hazelirfanoglu@hotmail.com, Orcid.org/0000-0002-3094-3988.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Küçükyalı, İstanbul, Türkiye. lsuri@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3225-1221.

1. GİRİŞ

Biyofili; bireylerin fiziksel ve zihinsel sağlık, yaşamsal memnuniyet ve tatmin için kalıtsal olarak doğaya ihtiyaç duymaları ve bu nedenle doğaya dönme, doğayla bütünleşme çabası olarak tanımlanabilmektedir. (Kellert, 2014). Bu tasarım anlayışını mekâna yansıtılabilmek için doğal malzeme, uygun bina yerleşimi, konut havalandırması, canlı materyal kullanımı gibi temel prensipler bulunmaktadır. Bu çalışma, yaşam alanları tasarımlarının insanlar üzerindeki etkilerinin neler olduğunun araştırılmasından hareketle biyofilik tasarımların canlıların beden ve ruh sağlıklarına olan olumlu etkilerini ortaya koymak adına düzenlenmiştir. Canlıların, özellikle de insanların içgüdüsel olarak doğal çevreyle bağlantı kurmak istediklerini kanıtlayan çalışmalardan hareketle, biyofilik tasarım ilkelerine duyulan ihtiyaç gözler önüne serilmiş ve bu tasarımların mekanlar ve insanlar üzerindeki etkileri gösterilmeye çalışılmıştır. Yaşam, uyku, çalışma ve dinlenme alanlarını insan yaşamına ilham veren, canlandıran ve zenginleştiren yerlere dönüştürmeye yardımcı olmak için biyofili ilkelerinin nasıl kullanılacağına dair ipuçları sunan çalışma, biyofilik tasarımın uygulanma ve değerlendirilmesinde ölçüt olan maddeler üzerinde de durmaktadır.

Çorakçı, İç Mimari Tasarım Rehberi'nde biyofilik unsurları çevresel özellikler, doğal şekil ve biçimler, doğal örüntü ve süreçler, ışık ve mekân, yerel ve evrimsel insan-doğa ilişkileri olarak belirlemiştir (Çorakçı, 2016). Bundan hareketle çalışmada biyofilik tasarım ölçütlerinin mekâna etkisinin ne olduğuna cevap bulmaya çalışılmıştır. Sadece konutların değil, geleneksel yapıların, sağlık yapılarının, camilerin, açık ofislerin, tarihi binaların biyofilik tasarım ölçütleri açısından değerlendirilmesine yönelik çalışmalar da literatürde mevcuttur. Aynı zamanda biyofilik tasarımın çocuklar üzerindeki etkileri, çevre ile birlikte tasarlanması, bireyin iyi olma hali üzerindeki etkileri gibi çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır.

Bu çalışmada son zamanlarda uzaklaşılan doğal hayatla “biyofili” kavramı ile tekrar bir araya gelmenin yolunu bulabilmek; tasarımda canlı materyal kullanımının önemini vurgulamak ve mimarlıkta biyofiliğin etkilerini değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda hazırlanan çalışmada, insan-doğa ilişkisine ve biyofilik tasarımın mekân ve insan üzerindeki etkilerine vurgu yapılması, çalışmaya sosyolojik ve psikolojik anlamda da değer katmaktadır. İnsanların canlılarla ve doğal çevreyle doğuştan gelen bir yakınlığı olduğu fikri, mimari, psikiyatri gibi çeşitli disiplinlerin birlikte yorumlanmasının doğru olacağını göstergeleri olup zamanın başlangıcından beri insanların sadece hayatta kalmak için değil, aynı zamanda gelişmek için doğal çevrelerine ve içindeki diğer canlılara bağlı hissetmeleri gerektiği fikri de yaygın bir fikirdir. Yaşam sevgisi ve yaşama bağlılık kavramlarıyla birlikte yorumlanabilen biyofili kavramı, biyofilik tasarım kriterlerinin iç mekanlar üzerinden incelenmesini bu anlamda gerekli kılmaktadır. Biyofilik tasarım insanların sağlığını, zindeliğini ve refahını geliştirmeyi ve insanlar için iyi bir yaşam alanı yaratmayı felsefe edinmektedir.

Erwin, insan hayatının yüzde 90'lık bir kısmının kapalı mekanlarda geçtiğini belirtmektedir (Erwin, 2005). Pandemiyle zorunlu hale gelen bu durum, iç mekânda doğanın eksikliğini yaşamının olumsuz etkilerini gündeme getirmiştir. Bu çalışma, biyofilik tasarım kavramıyla birlikte iç mekânda doğal yaşama dair izlerin olmamasının olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır. Biyofilik tasarımın en avantajlı yanlarından biri, belirli bir görünümü olmamasıdır. Doğal elemanları kullanmak ve doğayı eve getirmek bir tarzdan ziyade bir felsefedir ve açık/kapalı her mekânda uygulanabilmektedir.

Biyofilik tasarımın sürdürülebilir, doğaya karşı duyarlı ve doğaya saygılı binalar üretme eğiliminde olması, onun yeşil tasarım ile kıyaslanmasına neden olmaktadır. Bu anlamda yeşil tasarımın odak noktasının sürdürülebilirlik olması, biyofilik tasarımın insan deneyimini de içine

alması aralarındaki temel fark sayılabilir. Bu doğrultuda bakıldığında çalışma, sürdürülebilir çevreye katkısı açısından değerli görülecektir.

Çalışmada ayrıntılarıyla değinilen renklerin, form ve desenlerin, simetrisinin tasarım üzerinde etkisi, çalışmanın farklı alanlara da destek olabileceğini göstermektedir. Aynı şekilde ışık, sıcaklık, hava kavramları ile ayrıntılı değerlendirilen tasarım konusunun, sürdürülebilir çevre araştırmacıları için de yol gösterici olabileceği düşünülmüştür. Çalışma, özellikle pandemi sonrası önemi daha çok anlaşılan, doğanın mekanda yaşatılmasının yollarını göstermesi ve alanda özellikle pandemi sonrası çalışma olmaması açısından değerlidir.

2. BİYOFİLİ VE BİYOFİLİK TASARIM KAVRAMLARI

2.1. Biyofili Kavramı

'Biophilia' kelimesi kelimenin tam anlamıyla 'yaşam sevgisi' anlamına gelir. İlk olarak 1960'larda Erich Fromm adlı bir sosyal psikolog tarafından "The Heart of Man" adlı kitabında kullanılmış ve yirmi yıl sonra biyolog ve çevreci Edward Wilson tarafından popüler hale getirilmiştir (Fromm, 1964). Yaklaşımlarındaki tüm farklılıklara rağmen, bir tema ortaya çıkarılmış ve insanların canlılarla ve doğal çevreyle doğuştan gelen bir yakınlığı olduğu fikri sunulmuştur. O zamandan beri mimari, psikiyatri gibi çeşitli disiplinler tarafından yeniden yorumlanmış bir kavramdır. Biyofili kavramı insanın doğal elemanlar ile arasındaki etkileşim ihtiyacının duygusal yönüne eğilmektedir (Şahin & Satıcı, 2022).

Wilson biyofiliyi "İnsanoğlunun diğer formlara doğuştan sahip olduğu bir yakınlık, hayat koşullarına göre uyandırılan bir bağlılık, zevkle, güvenlik duygusuyla, huşuyla, hatta tiksiniyle harmanlanmış büyülenme" olarak açıklamıştır. Aynı zamanda zihnimizin nesilden nesile aktarılan ve potansiyel olarak insan atalarından gelen filogenik bir hafızayı kullandığını da iddia etmektedir. Bu nedenle biyofili, "yaşamın geri kalanıyla doğuştan gelen bağlılık" yani Dünya'daki tüm yaşamla filojenik ilişki duygusu olarak anlaşılabilir. (Wilson, 1984)

2.2. Biyofilik Tasarım

Biyofili kavramının mekân ile buluşabilmesi için bir tasarım anlayışı olan biyofilik tasarım insan-doğa-mekân-tasarım kavramlarını bütünleyici rol oynamaktadır. Biyofilik tasarım yalnızca işlevsel ve görsel disiplin olmamakla birlikte aynı zamanda zihinsel refahı da sağlayan bir tasarım anlayışıdır. Biyofilik tasarım, insanların sağlığını, zindeliğini ve refahını geliştiren modern yapılı çevrede biyolojik bir organizma olarak insanlar için iyi bir yaşam alanı yaratmayı amaçlar. Biyofilik tasarımın mekâna uygulanabilmesi için doğal ışık ve doğal malzeme, iklim koşullarına uygun konum belirleme, bitki kullanımı gibi birçok kriter vardır. Doğru bir tasarım ile yapay çevrelerde de doğayı hissetmek mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Chicago Uptake Headquarters Şirketinde Biyofilik Tasarım Uygulanması Örneği (Office Snapshots, 2021)

Chicago'daki Uptake Headquarters binasında (Şekil 1.) biyofilik tasarım unsurlarından doğal malzemeyi taklit eden yapay halı kullanılmıştır. Ahşap döşeme, kiriş, alanı bölmek için kullanılan ham kütükler gibi birçok doğal malzeme, alanda görülmektedir. Aynı zamanda yeşil renk duvarlar, saksıda ve dikeyde kullanılan bitkiler ile ormanda hissi veren mekânda sıcak tonda aydınlatmalar huzurlu bir mekân oluşumuna katkı sağlamıştır.



Şekil 2. Chicago Uptake Headquarters, Yoga Odası Örneği (Office Snapshots, 2021)

Duvar ve dikeyde kullanılan bitkiler, zeminde ve mobilyalarda kullanılan ahşap malzemeler ve duvardaki natürel renkler ile biyofilik tasarım kriterlerinin uygulandığı yoga odası, çalışanlara sığınma duygusu sunmaktadır.

İnsanların doğaya olan doğal ihtiyaçları üzerine yapılan araştırmalar, doğal dünyanın insan ruhunun tanımlayıcı bir parçası olduğunu öne sürmektedir; kimlik duygusunun ana kaynağı, fiziksel, duygusal ve bilişsel gelişim, estetik ve ruhsal deneyimlerin gelişimi için önemli bir temeldir. Ayrıca, bu temel gerçeği anlamadan tasarlayıp inşa edildiğinde, sadece gezegene zarar vermekle kalmayıp, insan deneyiminin kalitesinin de azaldığını ve insan sağlığının, esenliğinin olumsuz etkilendiğini de öne sürmektedirler (Pollack, 2006).

Biyofilik tasarımın başarılı bir şekilde uygulanması aynı zamanda geniş bir fiziksel, zihinsel ve davranışsal fayda yelpazesine sonuçlanmalıdır. Fiziksel sonuçlar, gelişmiş fiziksel uygunluk, daha düşük kan basıncı, artan konfor ve memnuniyet, daha az hastalık semptomu ve daha iyi sağlık içerir. Zihinsel faydalar, artan memnuniyet ve motivasyon, daha az stres ve kaygıdan gelişmiş problem çözme ve yaratıcılığa kadar uzanır. Olumlu davranış değişikliği, daha iyi başa çıkma ve

ustalık becerileri, artan dikkat ve konsantrasyon, gelişmiş sosyal etkileşim ve daha az düşmanlık ve saldırganlığı içerir (Kellert & Galabrese, 2015).

3. BİYOFİLİK TASARIM KRİTERLERİ VE İÇ MEKÂN

Konutlar ve ofisler gibi fiziksel sınırlara sahip olup içinde yaşanılan ve barınılan birçok kapalı mekâna iç mekân denir. İç mekanlar ilkel bir kulübe, çelik, ahşap, duvar, beton veya diğer malzemelerden oluşabilmektedir. Tesisat, elektrik, ısıtma, havalandırma ve klima sistemleriyle donatılmış karmaşık bir yapıya kadar çeşitlenebilmektedirler. Bireylerin içinde barındıkları, çalıştıkları, ibadet ettikleri, yemek yedikleri, dinlendikleri, eğlendikleri ve uyudukları alanlardır. Dış mekanlar ise bireylerin hava aldıkları, dolaştıkları, gezdikleri, sosyalleştikleri açık alanlardır. Bu sebeple içinde geçirilen zamanda mekanların fizyolojik ve psikolojik olarak iyileştirilmesi, insan konforunu olumlu etkilemektedir. Bu kapsamda biyofilik tasarımın mekânda uygulanabilmesi, zamanını bu mekanlarda geçiren insanlar ile doğayı buluşturmak, insanın doğayla olan bağlarını güçlendirmek için gerekli olmaktadır.

Biyofilik bir alan oluşturmak için bir araya gelen üç ana başlıktan bahsedilmektedir. İlki ister evleri çiçekler ve bitkilerle doldurmak, ister gerçek bir ateşin keyfini çıkarmak veya ofis ortamlarının temiz havayla dolu olduğundan emin olmak olsun, bir alanın insanı doğayla doğrudan, fiziksel temasla sokuğundan emin olmaktır. İkincisi insanlara doğrudan doğal şeyleri hatırlatan birçok farklı şeyi yaşam alanlarında kucaklamaktır. Bunlar desenler, renkler, malzemeler ve dokular olabilir. Üçüncüsü ise doğal ritimlere ve dış mekanlara bağlanacak şekilde yaşamaktır. Bu, mevsimlerle uyum içinde yaşamak, daha fazla doğal ışığa izin vermek ve dış mekân manzaralarından en iyi şekilde yararlanmak olabilmektedir (Coulthard, 2020).

Biyofili kapsamında tasarım, yalnızca dekorasyon ve mobilyalar ile sınırlanmamakta, aynı zamanda aydınlatma, iç mekân bitkileri, doğal ışık, hava akışı, malzemeler, görünüm, sesler, dokular ve ısıtma hakkında da düşünmeyi gerektirmektedir. Ev ve iş yerlerinin yanı sıra sosyal alanlarda (okullar, köy okulları, rehabilitasyon programları, kütüphaneler, millet bahçeleri, camiler, sınıflar, kurslar, kreşler), hemen hemen her sosyal yapıda biyofili unsurlarından yararlanmak mümkündür. Kreş ve okullarda hayvan beslemekten hastanelerde şifalı bir bahçe oluşturmaya kadar birçok topluluk kuruluşunda insanların doğayla olan bağlantılarını iyileştirmenin somut sonuçları görülebilmektedir.

3.1. Biyofilik Tasarımda Planlama ve Peyzaj Mimarisi

Planlama; kaynakların korunarak kullanılması, gelecek nesillerin gereksinimlerinin önceden kestirilerek düzenleme ilke ve yöntemlerinin geliştirilebilmesi için kullanılacak en etkin araçlardan biridir (Suri, 2018). Yapay çevre söz konusu olduğunda, biyofilik tasarımın yer duygusu ve bir bina tasarım şemasının konumuyla doğrudan bir ilişkisi olduğu söylenebilir. Çevresiyle herhangi bir bağlantı kurmaya çalışmayan tasarım, peyzaja aitmiş gibi hissettirmemektedir. Yapay unsurların (binalar, objeler, yollar ve ticaret alanları) arasındaki mekanlarda, alan içinde biyofilik tasarım unsurları ne kadar titizlikle uygulanırsa uygulansın hiçbir zaman doğal çevre ile doğrudan etkileşim içinde olan bir mekân kadar doğadan faydalanma söz konusu olamamaktadır. Planlama eyleminde, doğal çevre ve insan eliyle oluşturulmuş yapay ve sosyal çevre analizleri, belirtilen analiz unsurlarının birbiri ile etkileşiminin irdelenmesi büyük önem taşır (Suri, 2018). Bu sebeple mimari disiplinlerde peyzaj mimarlığı, mimarlık ve iç mimarlık ayrı düşünülmemeyeceği gibi, en başında bina konumlandırılmasının planlama aşamasında doğal çevreden maksimum yararlanma üzerine düşünülmesi gerekmektedir. Topografik özellikler, iklim, güneşlenme süresi ve bakı gibi birçok unsur planlama aşamasında değerlendirilmeli ve doğal çevre ile olan bağlantı güçlendirilmelidir. Doğal manzarayla olan görsel

bağlantının güçlendirilmesi ve peyzaj tasarımında alınacak kararlarla bu manzaranın bahçe tasarımı ile biyofilik bağlamda vurgulanması iç-dış mekân bütünlüğünü sağlamak için biyofilik bağlamda önerilebilecek tasarım kararlarından biridir (Ünal, 2021).



Şekil 3. Bina Yerleşiminde Topoğrafya Örneği (Carchitect, 2022)

Yukarıdaki örnek tasarımda (Şekil 3) yapı, topoğrafyaya uyumlu bir şekilde alanda konumlandırılmıştır. Aydınlanma seviyesini maksimuma çıkarabilmek için saydamlık kullanılmış, çevredeki doğal bitki örtüsü yapı bahçesinde ve çatı bahçesinde devam ettirilmiştir. Böylece yapı ve çevre arasında kopukluk olmamış ve yapay-doğal çevre uyumu yakalanmıştır. Su ögesi kullanımı ile biyofili unsuru desteklenmiş, alan kotları sayesinde manzara kesilmemiştir. Dünyanın dört bir yanından yapılan diğer araştırmalar, açık havada, doğaya bakarak veya doğal unsurlarla çevrili olarak doğayla bağlantı kurmanın stres hormonu olan kortizol seviyelerini azaltma, bağımsızlık sağlığı için çok önemli olan beyaz kan hücreleri sayılarını yükseltme, çocuklarda ve yetişkinlerde dikkat performansını artırma, problem çözme ve bilişsel işlev dahil olmak üzere odağı ve yaratıcılığı artırma, zihni sakinleştirme ve benlik saygısını artırma, kısa süreli belleği geliştirme, çocuklarda gün ışığı seviyelerine bağlı olarak miyop riskini azaltma, çocukları ve yetişkinleri sağlıklı yaşam tarzı alışkanlıkları geliştirmeye teşvik etme, uzun ömürlülüğü artırma konularında fayda sağladığını ispatlamıştır (NHS, 2022).

3.2. Biyofilik Tasarımda Doğal Malzeme

Biyofilik tasarımda malzemenin doğal olmasının önemi büyüktür. Doğal malzeme, malzemenin kelimenin tam anlamıyla en saf halinde olmasıdır; bu nedenle, bir iç mekân bitkisi veya bir ahşap kiriş 'doğal' olacaktır. Ancak çoğu şeyin amaca uygun ve fonksiyonel hale getirilmesi için bir tür değişiklik veya tedaviye ihtiyacı vardır. Bu anlamda 'doğal', mümkün olduğunca az işleme orijinal formuna yakın bir malzeme veya nesneyi ifade etmektedir.



Şekil 4. Doğal Malzeme Olarak Ahşap Kiriş, Masa ve Çerçeve Örneği (House Beautiful, 2018)

Yüzyıllardır toplumlar, evlerini ellerinde bulunan şeylerden inşa etmişlerdir. Yerel, hammaddelere olan bu güven, nesiller boyu aktarılan bilgiyle birleştiğinde, farklı yerlerin farklı ve tanınabilir mimari tarzlara sahip olduğu anlamına gelmektedir. Buna karşın çoğu modern bina, çevreleriyle çok az ilişkiye sahiptir. Bir yerin kültürü, doğası ve mirası hakkında çok az şey söyleyen standart yapı teknikleri ve stilleri kullanılmaktadır. Genellikle malzeme açısından yüksek enerji maliyetlerine sahiptirler, yerel ekosisteme katkıda bulunmazlar ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma için çok fazla kaynak harcarlar. Doğal çevrelerini hesaba katmadıkları için, genellikle içinde yaşayan insanların çevreleriyle veya yer duygusuyla anlamlı bir bağlantı kurmasını engellerler. Bu sakıncalar yüzünden günümüz mimar ve tasarımcıların yerel geleneklere dönüş yapması giderek artmaktadır. Fas'ta yakın zamanda yapılan bir projede olduğu gibi, yeni yerel malzeme ve becerileri en son teknoloji ve mühendislikle birleştiren Guelmim Teknoloji Okulu'nun arkasındaki mimarlar, depreme dayanıklı yeni malzemeleri, hava akışını ve ışığın kontrolünü etkileyen eski bina gelenekleriyle harmanlamanın bir yolunu bulmuşlardır.



Şekil 5. Guelmim Teknoloji Okulu mimarisi (Yatzer, 2012)

Biyofilik tasarımda malzeme yaklaşımı olarak mümkün olduğunca az işlenmiş, yakın çevreden temin edilen ve güçlü bir mekân duygusu yaratan malzemeleri kullanmak doğru olmaktadır. Ham,

doğal malzemeler bu süreçte özellikle önemlidir. Sürdürülebilirlik anlamında düşük karbon ayak izine sahip veya toksik süreçler kullanmayan malzemelerin tercih edilmesi doğal çevre için en iyi seçim olmaktadır.

Biyofilik anlamda, insanlar, doğal hallerine yakın olan malzemelere, son derece yapay olan malzemelerden farklı bir şekilde tepki vermektedir. Modern şehirler ve binalar doğal çevrenin yerini alması için inşa edilmiş yerlerdir, bu yüzden çoğu zaman bireylerin rahat hissetmemesi normaldir. Uyuşmazlığı azaltmak için adımlar atmak ve mümkün olduğu kadar doğal element ve malzeme eklemek insanın kendini daha fazla evde hissetmesine imkân sağlamaktadır.

Son araştırmalar ahşabın evlerde, ofislerde ve diğer binalarda bir malzeme olarak kullanıldığında insan sağlığı üzerinde ölçülebilir bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Avusturya, Kanada, Japonya ve Norveç'te yapılan deneylere dayanan bilgilerde, ahşabın varlığının stres azaltıcı bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Robert, 2010). Ahşabı tasarımlarda mobilya, döşeme, giriş veya kaplama gibi belirgin bir parçası olarak kullanan ortamların kan basıncını ve nabız hızını düşürdüğü gösterilmiştir (Nyrud, 2010).

Ahşap, işlenmesine bağlı olarak aynı zamanda mekâna bir doku ve görsel zenginlik de katmaktadır. Bunun sebebi ahşaba dokunmanın ve görmenin insanlara güven verici bir doğaya yakınlık hissi vermesi olabilir. Araştırmalar, cilt sıcaklığından kandaki oksijen seviyelerine kadar her şeyi test eden yakın tarihli bir deneyde, çok sayıda ahşap mobilya ve yüzey bulunan odalarda çalışan kişilerin diğer meslektaşlarına göre daha az gerginlik ve yorgunluk yaşadıklarını göstermektedir (Robert, 2010). Doğal malzemeler ahşaptan ibaret olmamakta birlikte keten, saman, bambu, pamuk, kamış, hasır, yün, pişmiş toprak, rattan, tüy, deri, çamur, taş, kil, kum gibi malzemeler de ahşap gibi doğal ve ham olup doğa ile bağlantı kurmaya yarayan malzemelerdendir.

Doğal dünyayla bağlantı kuran mekanlarda zanaatın da önemli bir rolü olmaktadır. Zanaatkarlar, çalıştıkları malzemeler hakkında derin bir anlayışa sahiptirler. Bunlar genellikle doğal malzemelerdir. Zanaatkarlar, onları okuyabilmek, verimli bir şekilde çalışabilmek ve güzel bir şey yaratabilmek veya ham maddeden faydalanabilmek için malzemelerini baştan sona bilmek zorundadırlar. Zanaat biyofilik tasarımda önemli bir role sahiptir. Mekanlar zanaatı kullanan nesnelere, dekor ve tasarlanmış alanlarla çevrelenirse, doğanın hammaddeleri ile insanın bir şeyler yapma dürtüsü arasında doğrudan bir bağlantı oluşturulmuş olmaktadır.

3.3. Biyofilik Tasarımda Bitki Kullanımı

Bir iç mekânda ortam sıcaklığı, nemi ve ortamın ışık alma seviyesi gibi uygun iklimsel koşullar sağlandığında bitkilerin doğru kullanımı ve konumlandırılması ile oluşturulan bir mekânın birçok faydası olmaktadır. Hava filtresi olarak potansiyel kullanımlarının yanı sıra bitki ve çiçekleri dekor olarak kullanmak ruh hali üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. 2010'da Avustralya'da yapılan bir araştırma, iç mekân bitkilerinin, kaygı, depresyon, düşmanlık ve yorgunlukta önemli azalmalar dahil olmak üzere işyeri stresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Bringslimark, 2007).

2016 ABD Ulusal Bahçecilik Raporu, yakın zamanda bahçeciliği keşfeden altı milyon Amerikalıdan beş milyonunun 18-34 yaş aralığında olduğunu keşfetmiştir. Bu artışın arkasındaki nedenlerden birinin ev bitkilerinin yeşil alan erişiminin az veya imkânsız olduğu şehirlerde insanların yeşilliklere erişmesini sağlayan iç mekân bitkileri olduğu düşünülmektedir. İç mekân bitkileri, bahçe bitkilendirmesi, teras ve pencere bitkileri dijital yönlendirilen yaşamlar için olumlu bir yönelim olabilir. Gelişmek için sürekli bakım ve dikkat gerektiren yaşayan bir şeye bakmak, gençlere somut ve gerçek bir şeyle yeniden bağlantı kurma şansı vermektedir.

Canlı bitkileri tasarımda kullanmanın onlarca yolu vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Ev bitkilerini asma saksıları, asılı teraryumları veya makrome sepetleri kullanarak tavana asmak.
- Duvara monte saksılara, raflardaki bitkilere, yaşayan duvarlara ve dikey bahçelere yer açmak.
- Seramik vazolar, cam şişeler ve kavanozlar, tepsiler, sığ kaseler, çanak çömlekler ve minyatür seralarda gruplandırılmış bitkilerle kompozisyon oluşturmak.
- Mekanları ayırmak için seperatör yerine bambu perdesi kullanarak yeşil kazanımı sağlamak.
- Balkonlarda sarılıcı bitkiler ve saksıda ağaççıklar kullanmak.
- Yeşil çatıları planlamaya dahil etmek.



Şekil 6. Mekânda Bambu Seperatör Kullanımı (Foter, 2021)

İç mekân bitkilerinin yanı sıra, çalışma ve yemek masalarında taze çiçeklerin varlığının sağlık ve ruh hali üzerinde kayda değer bir etkisi olabileceğini gösteren artan sayıda kanıt bulunmaktadır (Wakefield, 2018).

3.4. Biyofilik Tasarımda Ateş

Eski çağlardan bu yana sosyal alanlar, özellikle dinlenmenin planlandığı yerler, çoğunlukla bir tür ateş veya şömineden yararlanır. Birçok ev ve ortak alan bu alışkanlığı kaybetse de odakta bir ateş veya şömine önemli bir işleve hizmet etmekte, benliğimizin en derin, en eski bölümlerinden bazılarına dokunan bir işlev olmaktadır.

Ateş ışığı ve mum ışığı, vücudumuzda dinlenme hissini tetikleyen sakinleştirici bir kırmızı ışık vermekte, aynı zamanda rahatlama ve sosyalleşmede hayati bir rol oynamaktadır. Kamp ateşleri, şömineler gibi sıcaklığın odak olduğu alanların stres atma ve bağlı hissetme yeteneğimiz üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda insanların dikkatini şimdiye ve o mekâna odaklayan ateşin hipnotik etkilerinin, insanların başkalarıyla etkileşimini artırmaya yardımcı olduğu görülmüştür (Lynn, 2013).

3.5. Biyofilik Tasarımda Renk

Renkleri algılayabilmek insanların ekolojik nişteki başarısına ve bir tür olarak gelişmesine izin veren evrimsel bir avantaj olmaktadır. Çoğu memelide kırmızı yeşil renk körlüğü olmasına karşın insanlar kırmızı, mavi ve yeşilleri ayırt etme yeteneğine sahiptirler. Renkli görmenin nedeni ne

olursa olsun, yaşanan deneyimin çok önemli bir parçası olduğuna ve insanların birbiriyle ve daha geniş dünyayla ilişki kurmasına yardımcı olduğuna şüphe olmamaktadır. Bu nedenle renk, bireyler için bir anlam ifade eder. Farklı renklere farklı tepkiler verilir.

Renkler ayrıca 'değerlerine' ve 'kroma'larına bağlı olarak da farklı tepkiler üretmektedirler. Değer, bir rengin ne kadar açık veya koyu olduğu ve kroma, bir rengin ne kadar doygun veya soluk olduğudur. Hangi renklerin biyofilik bir alana uyacağı ve doğadan ilham alan renklerin yaşanan, uyunan ve çalışılan yerlerde daha iyi hissedilmesine yardımcı olup olmayacağı hakkında somut veriler olmamasına karşın, doğadaki farklı renklerin içgüdüsel olarak bireyi nasıl hissettirdiğine bağlı olarak, daha sezgisel bir yaklaşım benimsemek tasarım yapma konusunda yardımcı olmaktadır. Doğal dünya kılavuz olarak alındığında en azından doğada bireyi iyi hissettiren bazı unsurları taklit etmek faydalı olmaktadır. Örneğin doğal ortamdaki renklerin çeşitliliğini ve oranını ve doğa deneyiminden öğrenilen renkleri kullanarak bir alan dekore edildiğinde kullanılacak renkler biyofilik tasarımı destekleyici yönde olmaktadır.

Su, fiziksel varlığına ve sesine çok olumlu tepki verildiği için biyofilik bir renk olarak keşfedilmeye değer bir öge olmaktadır. Doğal dünyada hem gökyüzünde hem de su kütlelerinde mavinin yaygınlığı, mavinin hala dünyanın en sevilen rengi olduğunu açıklayabilmektedir. Dört kıtada ve on ülkede gerçekleştirilen bir 'You Gov' anketi, mavi rengin sürekli olarak favori olarak seçildiğini göstermiştir.

Maviden sonra yeşil, doğal dünyada en yaygın ikinci renktir. Yenilenmenin, büyümenin ve bitki yaşamının rengidir. Bilim adamları, yeşile baktığımızda beynimizin ve sinir sistemimizin sakinleştiğine inanmaktadır. Yeşile bakmanın neden iyi hissettirdiği ile ilgili bir teori olarak atalarımızın yeşilin çeşitli tonlarına diğer herhangi bir rengin aksine daha iyi bir duyarlılık geliştirmiş olabileceği düşünülmektedir.

Doğal peyzaja hâkim olan diğer renkler toprak tonlarıdır. Doğadaki kayaları ve çakılları karakterize eden yumuşak kahverengiler, griler, taş tonları ve kumlu tonlar, ahşap tonlarından toprağa, cilt pigmentasyonundan kürk ve insan saçına kadar kahverenginin farklı permütasyonlarını içermektedir. Rustik yaşam, kereste veya yün gibi ham boyanmamış malzemeler, sonbahar renkleri ve doğal pigmentler gibi unsurlar da biyofilili destekler niteliktedir.

Renk tepkileri yaşla birlikte de değişmektedir. Araştırmalar, üç yaşına kadar olan çocukların parlak ve ana renkleri, özellikle kırmızıyı soluk pastellerden daha çok tercih etme eğiliminde olduklarını ve de turuncu, sarı ve pembe gibi canlı sıcak tonların etrafında olmaktan keyif aldıklarını göstermektedir. Yetişkinler, maviler ve yeşiller gibi kısa dalga boylarındaki renkleri güçlü bir şekilde sevme eğilimindedir ve daha uzun dalga boyları, kırmızılar, turuncular ve sarılar gibi sıcak renkleri çok daha az tercih etmektedirler (Nature and Forest Therapy, 2018).

Bütün bunlar, yoğun renklerin tondan bağımsız olarak geniş alanlara uygulandığında rahatlatıcı olmadığını göstermektedir. Renk ne olursa olsun soluk tonlar canlı tonlardan daha az duygusal, fizyolojik veya psikolojik tepkilere neden olmaktadır. Biyofilide diğer renkler kadar olmasa da parlak renklere de yer verilmektedir. Doğadaki parlak renk kullanımı genel olarak dikkat çekme yönünde kullanılmaktadır. Bir yaşam veya çalışma ortamında parlak renkler kullanmak istendiğinde biyofilik bir yaklaşım düşünülüyor ise, parlak renkli kilimler, minderler veya battaniyeler, abajurlar, tabanlar, parlak çiçekler, iç mekân bitkileri, sanat eseri ve seramiklerde kullanmak iyi bir algı yaratabilmektedir.

Daha soluk renkler yaşanabilir rahat bir alan yaratabilirken koyu renkler zengin bir şekilde çağrıştırmacı olabilir ve geniş, havadar odalarla hoş bir kontrast oluşturan alanlar yaratabilmektedir. Koyu renkler, bir odanın sınırlarını veya sınırlamalarını belirlemede yardımcı renklerdir. Işık ve

gölge ile oynayarak bir gizem duygusu yaratabilir ve karanlık, rahat köşeler oluşturabilirler. Derin, karanlık sığınak alanları ile aydınlık, havadar sosyal yerler arasındaki kontrastlar hem ev hem de ticari binalarda kullanılabilir. Bu da insanları bir alana çekmeye yardımcı olmakta ve bireye sığınma duygusu sağlamaktadır.

Yaşam alanlarının rengi değiştirmek istendiğinde, biyofilik değerlere uyacak boyalar tercih edilmelidir. Bunlar genellikle yenilenebilir bitki bazlı reçineler, yağlar gibi hava kalitesi açısından daha az zararlı olan ve renklerini doğal toprak ve mineral pigmentlerden alan boyalardır.

3.6. Biyofilik Tasarımda Formlar ve Desenler

Estetik, henüz bilim olmamakla birlikte nesnelere nasıl görüldüğü ve onlara nasıl tepki verildiğini incelemekte, insanların belirli kalıplara ve formlara içgüdüsel olarak bakmaktan zevk aldıklarını keşfetmeye odaklanmaktadır. Biyofilik tasarımda bu bilgi iki şekilde kullanabilmektedir. Doğal manzara resimlerine bakmak sağlığı iyileştirebilmekte ve onarıcı olabilmektedir. Doğal motifleri ve görüntüleri iç tasarımın ve mekânın tüm yönlerine dahil etmek, yaprak desenli duvar kağıtlarından yatak takımlarındaki kuşlara, doğal formları barındıran sanat eserlerine ve mimari detaylardaki çiçek tasarımlarına kadar kullanmak biyofilik tasarımı destekleyici bir yaklaşım olacaktır.



Şekil 7. Araucaria araucana Ağacında Bulunan Fraktal Örneği

Doğa motifleri her yerde bulunmaktadır. Ağaçlar, deniz kabukları, çiçekler, hayvanlar, hava durumu, yıldızlar, yapraklar, su tasarımda ilham almak için inanılmaz bir kaynak sağlamaktadır. Daha soyut bir düzeyde, yaşam alanlarına kopyalanabilecek noktalar ve çizgiler, dalgalar ve kıvrımlar veya çatlaklar ve mozaikler gibi sonsuz doğal şekiller vardır. Bu da biyofilinin yapılı çevre deneyimini geliştirmek için kalıpları kullanabileceği ikinci yol olmaktadır. Çalışmalar, bir sanat eserinin, duvar kağıdının, belirli kalıpların mekanları görsel olarak çekici kıldığını ve refah üzerinde olumlu bir etkisi olabileceğini öne sürmektedir. Bu desenler ise genellikle doğada bulunanlar olup tasarım ve mimari üzerindeki etkileri derindir. İç mekânlarda ve bina tasarımlarında da görsel olarak kafa karıştırıcı olabilen çok sayıda farklı, karmaşık deseni bir araya getirmek yerine evlerde, kamusal alanlarda ve ticari binalarda doğal desenleri kullanarak, onları kullananların deneyimlerini iyileştirmek iyi bir yaklaşım olmaktadır.

Fraktallar aynı şekli farklı boyutlarda tekrar eden desenlerdir. Doğada her yerde görünmektedirler. Küçük dallara ve daha küçük dallara ayrılan bir ağaç dalı gibi, doğada birçok şey fraktal desenler yaratmaktadır. Yaprak damarları, nehirler ve akarsular, kan damarları, kristaller, eğrelti otları ve bulut oluşumları gibi yerlerde de fraktal örnekleri bulunmaktadır. Psikologlar ve sinirbilimciler, insanların doğada bulunan fraktalların fotoğraflarına bakma tepkilerini ölçmüş ve sonucunda

insanların fraktalları görsel olarak işlemede özellikle iyi olduklarını tespit etmişlerdir (Taylor, 2011).



Şekil 8. Tasarımda Eğri Kullanımı, Wimmera Unitingcare, Avustralya (Fibre Guard, 2019)

Şimdiye kadar keşfedilen en eski sanat eserlerinden bazıları eski, yarım milyon yıllık, kaya yüzlerinden oyulmuş daireler olan 'kupüller'dir. Sebebi bilinmese de daire şekli eski zamanlardaki insanlar için açıkça önemli olmuş ve o zamandan beri tasarıma, mimariye ve sembolizme egemen olmuştur.

3.7. Biyofilik Tasarımda Simetri

Biyofilik tasarımda simetri de düşünülmesi gereken bir konu olmaktadır. İnsanların simetrik yüzleri asimetrik olanlardan daha çekici bulduklarını öne süren çok sayıda araştırma vardır. Küçük çocuklarla yapılan çalışmalar, bebeklerin daha dört aylıkken dikey, iki taraflı simetriye sahip şeyleri tercih ettiklerini ve bu özelliğin bir yaşına kadar kökleşmiş gibi görüldüğünü göstermiştir (Pornstein & Krinsky, 1985).

Simetrinin neden sevildiğine dair diğer bir teori de bir şeyin sağlıklı olduğuna işaret etmesidir. İnsanlar ve diğer hayvanlar, simetriyi biyolojik uygunluğun bir ölçüsü olarak kullanmaktadır. Simetri birinin veya bir şeyin genlerinin düzgün bir şekilde ifade edildiğini göstermektedir ve doğal dünyada açıkça önemlidir.

İnsan beyni ayrıca simetrik görüntüleri asimetrik olanlardan daha hızlı ve daha doğru algılamakta ve onları daha iyi hatırlamaktadır. MRI taramalarını kullanan bir çalışma, beynin görsel korteks bölgesinin simetrik desenlerle simetrik olmayanlardan daha fazla aktive olduğunu göstermiştir (Sasaki ve ark., 2005). İnsanlar yapısal düzenliliği sevmekte, sezgisel bir şekilde simetriyi düzen yaratmak isteyip, kaostan uzaklaşıp kendilerini güvende ve kontrol altında hissetmelerini sağlamakta olduğu için tercih etmektedirler. Ayrıca simetri insanların nesnelere hızlı bir şekilde tanımlarına ve çevreleri hakkında yargılarda bulunmalarına yardımcı olmaktadır.

Ancak çok fazla simetri kullanmak tasarımda sıkıcı olmaya başlayabilmektedir. Doğa nadiren mükemmel olup ve deneyimler ile bireye bunu yansıtmaktadır. Hiçbir yüz tam olarak simetrik olmamakta veya kusursuz bir şekilde ifade edilmiş çiçek bulunmamaktadır. Bu nedenle, insanların tasarımdaki simetri ile olan ilişkisi her şeyi mükemmel yapmaktan ziyade yapılı çevre hissinden uzaklaşıp simetriyi az da olsa kırmalıdır. Tasarımcılar için simetri, nihai hedef değil başlangıç

noktası olmalıdır. Ancak simetriyi tamamen olmasa da ince dengesizliklerle çarpıtmak önemli bir tasarım kriteridir. Bir iç mekânı ilginç kılmak için, simetriyi yalnızca küçük vurgulamalarda kullanmak veya ekstra, rastgele bir öğenin eklenmesiyle genel simetrik tasarımın kaldırıldığı 'kırık simetri' kavramından yararlanmak önemlidir. Simetriyi kırmak için farklı desenli kumaşlara sahip iki özdeş koltuk, sadece biri çiçekle dolu birbiriyle uyumlu vazolar, bir fotoğraf çerçevesiyle kesintiye uğrayan düzgün bir kitap dizisi kullanılabilir. Bunların hepsi dengeyi bozmadan tekrarı kırmanın yollarındandır.

3.8. Biyofilik Tasarımda Doğal Işık

Beynin uyku, açlık ve uyanıklık gibi şeyleri kontrol eden günlük döngüleri yöneten bir kısmı vardır. Bu kısım kendini düzenlemekte, ancak aynı zamanda gün ışığı veya sıcaklık gibi çevresel etmenlerden de etkilenmektedir. Bu değişkenler bozulursa, insan ritmi senkronize edilemez. Araştırmalar giderek artan düzensiz ritmin insan sağlığı üzerinde derinden olumsuz bir etkisi olabileceğini göstermektedir. Obeziteden kalp hastalığına, uyku yoksunluğundan depresyona kadar, yirmi birinci yüzyıl yaşamıyla ilişkilendirilen birçok sorunun insanın iç saatleriyle ilgili sorunlarla bağlantılı olduğu ortaya çıkmaktadır (Gustafsson, 1992). İnsanları düzenli vücut ritminden alıkoyan şeyler arasında daha uzun çalışma saatleri, yapay olarak aydınlatılan alanlar, aşırı ısınan evler, gece vardiyaları, 7/24 yaşam tarzlarındaki ısrar, geceleri teknolojiyi kullanmak ve doğanın gündüz-gece döngüsüne müdahale etmek gibi yollar olmaktadır.

İnsan varoluşunun büyük kısmında günlük hayatını gün ışığının mevcudiyetine göre yaşamıştır. Gün doğarken uyanmış ve hava karardığında yatmıştır. Gün ışığı insanlara aktif olma zamanının geldiğini söylemekte, gece sadece ay ya da yıldızlar tarafından aydınlatılan yatma zamanını işaret etmektedir. Yeni araştırmalar, ortam sıcaklığındaki küçük değişikliklerin bile uyku-uyanıklık döngüsünü etkileyebileceğini göstermiştir (Yadlapalli ve ark., 2021).

İnsanlar zamanının çoğunu dışarıda geçirmek için evrimleşmişlerdir. Doğal ışığa erişim eski zaman insanları için bir sorun olmasa da günümüzde büyük çoğunluk kentsel ortamlarda yaşamakta ve günlerini yapay ışıkla aydınlatılan binalarda geçirmekte, ihtiyacı olan doğal ışıktan nicelik veya nitelik alamamaktadır. Tüm bunların yanı sıra bir binaya çok sayıda cam eklemek her zaman çözüm olmamaktadır. Tam güneş ışığı göz kamaştırıcı olabilmekte ve çok fazla ısı yaratabilmektedir; bazen ihtiyaç olan şey dolaylı ışık veya buzlu cam gibi filtrelenmiş doğal ışık kaynaklarıdır.



Şekil 9. Doğal Işıktan Yararlanmak İçin Kullanılan Buzlu Cam Örneği (Houzz, 2021)

Bir iç avlu doğrudan evin kalbinde bir ışık kaynağı yaratabilmektedir. Yalnızca bir ağacı veya küçük bir bitkisel alanı barındıracak kadar büyük olsa bile, mekânda doğal ışık sağlayıp ve birden fazla oda ve açıdan yeşilliklere erişim imkânı vermektedir. Bu şekilde hem doğal ışık rahatsız etmeyecek şekilde mekâna katılıp, hem gündüz/gece kavramını iç mekânda hissettirilip hem de bitkisel alan kazanımı ile biyofilik tasarım açısından zengin bir alan oluşturmak mümkün olacaktır.

Cam tuğlalar ve bölmeler, cam çatı kiremitleri, Fransız kapılar, buzlu camlar ışığın iç mekanlardan geçmesine izin vermenin yollarındandır. Büyük cam bölmeler, kuzeye bakan konumlarda kullanışlı olmaktadır, çünkü gün boyunca en düzgün gün ışığını alıp parlama sorunları yaşatmazlar. Pencerele güneşe bakıyor ve çok fazla parlak güneş ışığı var ise ışık seviyelerini önemli ölçüde azaltmadan pencerelerin dışına çalılar veya saksılar yerleştirmek, yarı saydam panjurlar kullanmak kullanışlı olabilmektedir.



Şekil 10. Doğal Işıktan Yararlanmak İçin Oluşturulan İç Mekân Avlusu Örneği (Well Lit, 2022)

Biyofilik bir alan oluşturabilmek için mekânda ferahlık hissi önemlidir. Çok fazla eşya mekânda boğucu bir his yaratabilmektedir. Bir alanı aşırı kalabalıklaştırmayarak mobilyalara ve dekora nefes alması için bolca alan verilmeli, etkili depolama sistemleri kullanılmalı ve yaşam/dinlenme alanları olabildiğince düzenli tutulmalıdır. İç mekânda daha fazla ışığa ihtiyaç varsa, kireçli meşe gibi açık renkli ahşap, boyalı döşeme tahtaları, soluk doğal döşemeler, açık renkli taş veya açık yün halılar tasarımda değerlendirilebilir.

Günümüzde de gün içinde değişen doğal ışığın yoğunluğunu ve rengini kopyalayan yeni ışık kaynakları üzerinde çok fazla araştırma yapılmaktadır. İnsan merkezli aydınlatma gibi tasarımdaki özel alanlar aynı zamanda insanlara yapay ışık deneyimlerini nasıl en üst düzeye çıkaracağını ve her yerde ışığın renk sıcaklığını ve yoğunluğunu değiştirmek için soğuk ve sıcak ışıkları karıştırarak çalışan dinamik aydınlatma sistemlerini geliştirmeye çalışmaktadır.



Şekil 11. Işık Sıcaklığı Şeması (Pinterest, 2021)

Mum ışığı ve titrek alevler de insanlar için genellikle çekici olmaktadır. Modern toplumlarda hala, elektrik ışığı ve diğer ısıtma kaynaklarının varlığında dahi eski teknolojileri kullanma alışkanlığı sürdürülmektedir. Mum ışığı ve alevin bireyde sakinleştirici ve rahatlatıcı etki yaratmasının sebebi evrimsel geçmişle ilgili olabilmektedir.

3.9. Biyofilik Tasarımda Sıcaklık ve Hava

Berrak, temiz havanın faydaları çoğunluk tarafından bilinse de bir şehrin merkezinde çalışan ve biraz temiz hava isteyen bireyler için içerideki havayı mı dışarıdaki havayı mı solumanın daha iyi olduğu konusunda ikilem bulunmaktadır. Çalışmalar, özellikle boyalar, temizleyiciler, tütün, oda spreyleri ve yapıştırıcılar gibi zehirli dumanlar yayan ürünler ve malzemelerle olan ilişki nedeniyle, iç mekân hava kalitesinin genellikle dış ortam kirlilik seviyelerinden daha kötü olduğunu defalarca göstermiştir. İnsanlar günlerinin büyük bir kısmını iç mekânda geçirmektedirler (Erwin, 2005). Konutlarda ve iş yerlerindeki hava kalitesini doğru almak oldukça önemli olmaktadır. Bu sebeple iç mekânda nasıl daha temiz hava oluşturulabileceği konusunda yoğunlaşmak gerekmektedir. Yaşam alanlarına daha fazla temiz hava almak, havanın iç mekân alanlarına girmesini sağlamak için bazı yollar bulunmaktadır. İlki pencerelerin, çatı pencerelerinin ve kapıların açılmasıyla olan doğal havalandırmadır; ikincisi havalandırma sistemleri gibi mekanik yollarla olan havalandırmadır.

Bitkilerin havadaki toksinleri gidermede ne kadar etkili olduğunu görmek için yapılan bir deneyde, zararlı havadaki kimyasallar, bitki içeren küçük bir odaya verildiğinde, bitki kimyasalları emebilmiş ve havayı büyük ölçüde temiz bırakabilmiştir (Wolverton, 2021). O zamandan beri, konut ve işyerlerinde havayı temizlemenin doğal yollarını bulmak isteyenler için iç mekân bitkileri listenin üst sıralarında yer almaktadır. Havayı temizleyen bazı bitkiler arasında areka palmyesi, salon palmyesi, kauçuk bitkisi, drasena, orman sarmaşığı ve eğrelti otu bulunmaktadır.



Şekil 12. Areka Palmiyesinin Dekorasyonda Kullanım Örneği (Decortips, 2018)

3.10. Biyofilik Tasarımda Manzara

İnsanlar çok uzun zamandır var olup doğanın içinde hayatta kalıp çevresini sürekli okumakta ve tepki göstermekteydiler. Sanayileşmiş, yoğun nüfuslu bir yaşam biçimine geçilmiş olsa da bu durum, insan beyninin doğayla olan doğuştan gelen bağıni kaybettiği anlamına gelmemektedir. İnsanoğlu doğal dünyaya sıkı bir şekilde bağlıdır. Araştırmalar, kültürel eğitimden bağımsız olarak insanların doğa manzaralarını ve görüntülerini tercih ettiğini göstermektedir. Yapılan bir çalışma insanlara farklı türdeki doğal çevrenin (orman, çöl, sık orman, dağ vb.) görüntüleri gösterildiğinde, savan benzeri manzaraları seçme eğiliminde olduklarını göstermiştir. Bunlar geniş, açık çimenli alanlar, suya erişim ve dağınık ağaçlarla karakterize edilmiştir (Balling & Falk, 1982).

Doğaya bakıldığında insanın kendisini iyi hissetmesinin bir nedeni de zihinsel yorgunluk üzerinde onarıcı etkisi olmasıdır. Araştırmalar, insanlara çimenleri ve ağaçları görebilecekleri bir görüş vermenin, hastanede daha hızlı iyileşmelerine, okulda veya işyerinde daha iyi performans göstermelerine ve daha az saldırgan davranış sergilemelerine yardımcı olduğunu göstermiştir. Orta çağ Avrupa'sında bu yeni bir fikir olmamıştır, ilk hastaneler manastır revirleriyken bahçe genellikle kompleksin merkezinde olup bitkileri ve varlığı iyileşme sürecinin önemli bir parçası olmuştur. İster bir pencereden bakmak ister doğal dünyanın bir resmine bakmak olsun doğa görüntüleri insanları rahatlatmakta, kalp atış hızını, kan basıncını ve stres seviyelerini düşürmekte ve konsantrasyonlarını keskinleştirmektedir.

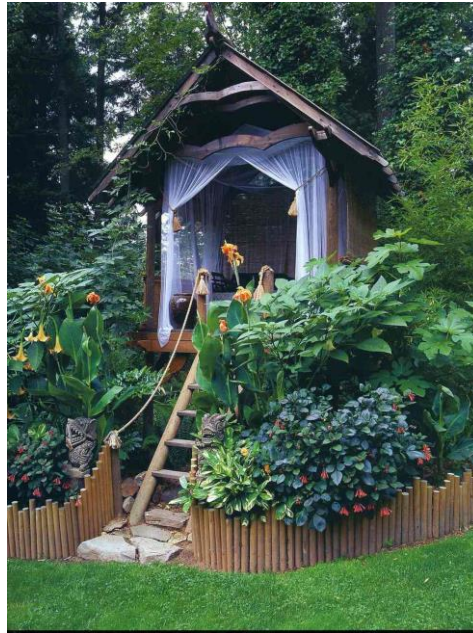
Biyofilik tasarımda iç ve dış mekân ayrı düşünülmemelidir. Evde iç mekân ve dış mekân alanları arasında anlamlı bir bağlantı kurarak yakın çevredeki yapılar topluluğunu, doğal ve yapay öğeleri, bahçeyi veya verandayı yaşam ortamının bir parçası gibi hissettirmek tasarımda doğru bir anlayıştır. Bu uygulama yalnızca görünümü iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda iç mekandaki ışık ve temiz hava miktarını da artırmaktadır. Doğaya kısacık bir bakış bile biyofilik anlamda onarıcı olabilmektedir.

Manzaralı bir odadan en iyi şekilde yararlanabilmek için masayı pencere yanına yerleştirmek, kanepeyi dışa çevirmek ya da oturup manzarayı seyredabilmek için bir alan yaratmak gibi uygulamalar mantıklı olacaktır. Yeni bir alan planlıyorsa pencerelerin manzarayı çerçevelediğinden ve eşiklerin çocuklar da dahil olmak üzere insanların otururken bile manzaraya erişmelerine izin verecek kadar alçak olduğundan emin olmak gerekmektedir. İş yerlerinde ise

benzer tasarım stratejilerinin tümü üretkenliğe ve işyeri memnuniyetine katkıda bulunacaktır. Çatı bahçeleri kullanmak, ortak bahçe alanları, teras bahçeleri, saksıda bitkiler, dikey bahçeler ve doğa resimleri ile ofis alanlarında biyofilik yaklaşımlar tasarımda olumlu etkiler yaratmaktadır.

3.11. Biyofilik Tasarımda Sığınma ve Gizlilik

Bir iç mekânın başarılı bir tasarıma sahip olmasının bir kriteri de insanların yaşam biçimlerini destekleme yeteneğine sahip olmasıdır. Bir mekân, sakinlerini dış unsurlardan korumalı ancak aynı zamanda doğadaki yaşantıyı taklit edecek şekilde içinde yaşayan veya çalışan insanlar ile doğa arasındaki bağlantıyı koparmamalıdır. Yani bireyi hem dış dünyadan ayırmalı hem de dış dünyayla bağlantılı hissetmelerine izin vermelidir. Biyofilik tasarımın derinliklerine inildiğinde sakinlerine umut, sığınak, gizem ve risk veren binaların öneminden bahseden dört etkileyici fikir ortaya çıkmaktadır. Dört tema, konut ve çalışma alanı tasarımına uygulanabilmekte ve insanlara açık havada olma deneyimini yansıtır yapı çevre deneyimi sunma fırsatı vermektedir. Şeffaf duvar bölmeleri, büyük pencereler, balkonlar, geniş sahanlıklar, açık plan alanlar ve uzun koridorlar gibi unsurlar bunu uygulamanın birer yolu olmaktadır. Aynı zamanda, her bireyin saklanacak bir alana ihtiyacı olmaktadır. Sığınabileceği alanlar kendilerini çevrelerinden ayrı hissettirmeleri ve sakinlerine kısa bir mola için günün, yaşamının hızından ve gürültüsünden uzaklaşma şansı vermektedir. Sığınaklar ayrıca bireye hava koşullarından korunacak bir alan, mahremiyet, düşünmek, dinlenmek veya rahatlamak için sessiz bir yer, okumak veya yaratıcı olmak için bir yer gibi birçok alan sunabilmektedir. Sığınaklar çeşitli şekillerde oluşturulabilmektedir. Bazen ihtiyaç olan tek şey, bir ortamda küçük bir değişiklik, bir okuma koltuğu veya bir ofis bölmesi olabilir. Diğer zamanlarda daha önemli bir şey yaratmak istendiğinde bir bahçe çardağı, rahat bir oturma alanı, kış bahçesi, gizli bir salıncak alanı veya hamak gibi insanların rahatlayabileceği ve saklanabileceği bir alanı oluşturulabilir. Tam bir sığınağa ihtiyaç olduğu durumlarda ise ağaç evler veya kulübeler gibi tam gizlenme sunan alanlar, bireyin rahatsız edilmeden saklanmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 13. Bahçe İçerisinde Ağaç Ev İle Oluşturulan Sığınma Alanı (The Spruce, 2021)

İnsanların keşfetme duygusunu tasarımda bir sürpriz unsur sunarak yaşatabilmek biyofilik tasarımda önemlidir. Bahçe tasarımcıları, insanların etkileşime girebilecekleri yeşil alanların gücünü uzun zamandır anlamakta ve dolambaçlı yollar, gizli bahçe alanları ve labirentler gibi merak duygusunu güçlendirecek alanlar oluşturarak bireyi daha fazlasını keşfetmeye teşvik

etmektedir. Bunu yapılabildiği çevrede uygulamak için insanları bir binaya daha fazla çekecek kavisli duvarlar veya kavisli yürüyüş yolları kullanılabilir. Beklenmedik nişler veya girintiler içeren alanlar, bir binadaki yükseltilmiş ve batırılmış alanlar ayrıca düz alanlara karmaşıklık katıp sıradanlığı kırmaktadır. Tavan yükseklikleriyle oynamak, özellikle kapalı bir alandan açık alana veya dar bir koridordan geniş, ferah bir odaya geçildiğinde sürpriz unsuru katmaktadır. Işık ve gölgeyle oynamak, karanlık köşeler oluşturmak, aydınlık odalardan derin, gölgeli alanlara geçmek gibi dekoratif değişiklikler de alana gizem katabilmekte ve tahmin edilebilir bir alandan ziyade bireyde gizem duygusunu güçlendirecek alan oluşturmada yardımcı olabilmektedir.

Doğadayken hissedilen diğer bir duygu da risk duygusu olmaktadır. Bu basamak taşlarının üzerinden geçildiğinde veya bir uçurum kenarından aşağı bakıldığında hissedilen duygudur. Her şeyin hala temelde güvenli olduğu duygusuyla birleşen bu tehlike telaşı, insanları monotonluktan uzaklaştırarak ilgilerini çekmektedir. İnsanlar boşlukları bir risk unsuru olarak görmekte, cesaretlerini test etmeyi sevmekte ve kendilerini canlı hissetmektedirler. Binaların veya yaşam alanlarının güvenli olması gerekir, ancak bir yerin keyfini artıran 'kontrollü risk' unsurları biyofilik tasarıma dahil edilebilir. Cam tabanlı yürüyüş yolları, yüksek seyir noktaları, su üstünden geçilecek köprüler, sonsuzluk havuzları, su altından geçilen alanlar, basamak taşları, tahmin edilemeyen mekanlar, köprüler ve yükseltilmiş yürüyüş yolları, yaban hayatına yakınlık kurup insan yapımı bir alana doğada hissedilen canlılık duygusunu katabilmektedir.

3.12. Biyofilik Tasarımda Su

İnsanların suya ihtiyacı olduğu açıktır ve hayatta kalmaları buna bağlıdır. İnsanlar mutlu olmak için yaşam alanlarında suya ihtiyaç duymaktadırlar. Araştırma çalışmaları, insanların su içeren sahneleri görsel olarak tercih ettiklerini ve daha da önemlisi, su içeren hem doğal hem yapay ortamlara olumlu tepki verdiklerini göstermiştir (White ve ark., 2010).

Stres seviyelerini azaltmak ve kalp atış hızlarını düşürmekten, konsantrasyon ve hafıza seviyelerini iyileştirmeye kadar su birçok biçimiyle biyofilik alanlarda oynayacağı kilit bir role sahip olmaktadır. İdeal manzarayı tanımlamaları istendiğinde, çoğu birey suyun varlığını dahil etmektedir. 2010 yılında yapılan bir çalışmada hem doğal hem de kentsel alanların farklı resimleri gösterildiğinde, katılımcılara hangi resimlerin kendilerini daha olumlu bir ruh hali içinde hissettirdiği sorulmuş, konumdan bağımsız olarak çoğunlukla en yüksek notları alan resimler su içeren resimler olmuştur (Kim ve ark., 2010). Suyun ruh hali üzerinde neden bu kadar derin bir etkiye sahip olduğunu hala bilinmemekle birlikte bir teori, suyun varlığının sürekli "M" hareketi ve kıvrımlı akışının, insanları TV izlemek veya bilgisayar ekranına bakmak gibi yönlendirilmiş bir göreve aşırı odaklanma durumumuzdan uzaklaştırması ve bunun yerine beynin farklı bir bölümünü meşgul etmesi olarak açıklamaktadır.

Su bireyin hayal kurmasına veya yaratıcılığını genişletmesine izin veren güçlü bir tasarım unsuru olarak gösterilmektedir. Bununla birlikte hareketli su da rahatlama ve sakinlik duygularını uyandırdığı düşünülen sesler yaratabilmektedir. Daha öngörülebilir ve ritmik sesler nispeten yüksek olsalar bile aynı tepkiyi tetiklememektedir. Bireyler kademeli bir şelalenin sesine veya akarsuyun akışına içgüdüsel olarak kulak dikmektedir. Günlük fonksiyonları ile banyolar bile yağmur spreylili duş başlıklarından ve şelale duşlardan; büyük, ortak banyolara ve dış mekân küvetlerine kadar suyun büyüğünden ve doğayla iç içe olma deneyiminden doğa-insan bağlantısını sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Renk, desen veya yansımalar yoluyla iç mekanlarda suyun varlığı taklit edilebilir. Aynalar, el yapımı cam ve seramikler, ışığın yansımaları gibi ilginç oyunlar yaratabilirken duvar kâğıdı, kumaş ve resimler üzerindeki sulu motifler de suyun varlığının taklit edilmesine katkıda bulunabilir. Deniz köpüğü ve kıvrılan dalgalardan soyut dalgalanmalara ve kristal damlacıklara

kadar su, sayısız desen ve renk tonu yaratmaktadır. Örneğin New York'ta bir duvar kâğıdı şirketi, kısa süre önce şelalelerin ve deniz akıntılarının gri, kademeli güzelliğini çağrıştıran "Ode to Eau" koleksiyonunu yaratmıştır.



Şekil 14. Mekânda Su Ögesinin Görselliğinin Ve Sesinin Kullanılması (Homedit, 2010)

3.13. Biyofilik Tasarımda Doğal Sesler

Biyofilik tasarım planlanırken yapıli mekanlarda doğayı hissedebilmek için tasarımda düşünülecek diğeri bir unsur da ses olmaktadır. Bir ağacın arasından esen bir esinti sesi, bir derenin yumuşak uğultusu, şafak vaktindeki cıvıltılar gibi doğanın seslerinin rahatlatıcı olduğu herkesçe bilinip kabul edilen bir savdır. Yeni araştırmalar, doğanın müziğini dinlemenin insanların hem zihinlerinde hem de bedenlerinde fiziksel değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir (Praag et at., 2017).

Doğal seslerden bahsedildiğinde iki terim ile karşılaşılmaktadır. 'Biyofoni' olarak adlandırılan kuş ötüşü, cırcır böceklerinin cıvıltısı ve baykuş ötmeleri gibi hayvanların çıkardığı sesler ve 'jeofoni' olarak adlandırılan doğanın yağmur damlaları, gök gürültüsü veya çarpışan dalgalar gibi hayvansal olmayan sesleri. Modern yaşamla, özellikle de kentsel yaşamla ilgili en önemli sorunlardan biri, trafik gürültüsü, inşaat çalışmaları, uçaklar, telefonların çalması gibi insan yapımı seslerin, doğal müziği veya 'akustik ekolojiyi' nasıl bastırdığı ve genellikle sağlık sorunlarına ve strese neden olduğu olmaktadır. 'Gürültü kirliliği' olarak adlandırılan şeyin, yüksek tansiyon ve baş ağrılarından artan kalp krizi ve felç riskine kadar ölçülebilir yan etkileri olduğu çalışmalarda gösterilmiştir (European Commission Sciencefor Environment Policy, 2015).

Tasarım planlanırken doğal sesleri kullanabilmenin yolları düşünölmelidir. Su ögesi yalnızca kendi doğal seslerini üretmekle kalmayıp aynı zamanda doğanın akustiğine katkıda bulunabilecek böcekleri ve kuşları da kendisine çekip teşvik edebilmektedir. Örneğin, şehir hayatı yabani kuşlar için zengin bir seçim olabilir. Kuş yemi veya barınağı sağlayarak, meyve veya meyve ağaçları dikerek, bir kuş banyosu kurarak veya böcek dostu bir çiçek bahçesi oluşturarak evde veya işte dış alanlarda kuş ötmesi teşvik edilebilir. Bu da daha fazla kuş yaşamını teşvik etmektedir. Suyun haricinde esintiler de kendi seslerini yaratmaktadır. Tasarımda temiz havanın bir alanın etrafında örneğin dikilmiş yapraklı ağaçların arasında hareket edebilmesine izin verebilmek oldukça

önemlidir. Yağmur, sakinleştirici ritmik hareketleriyle bir başka yatıştırıcı sestir. Çatı penceresi, metal çatı kaplaması, bir kış bahçesi veya pergola altında bir sığınak konumundan yağmuru dinleyebilecek ve tadını çıkarabilecek alanlar yaratmak doğanın sesinden yararlanmanın bir diğer yolu olmaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada gittikçe uzaklaşılan doğal hayatın tekrar insan yaşamına kazandırılabilmesi için gerekli incelemeler yapılmıştır. Sonuçta doğal ışık, havalandırma, doğal malzemeler, doğal şekiller ve formlar ile yetersiz temastan kaynaklanan ve yapılı çevrede insanlar ile doğa arasında artan bir kopukluğun olduğu bir tasarımın egemen olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan da görülebileceği gibi insanoğlu fiziksel, ruhsal hatta kalıtsal açıdan doğaya bağlıdır. Her ne kadar araya mesafe girse de kökleri insanları doğaya itmektir. Huzurla, mutlulukla, sağlık ve refahla ilgili yapılan tüm çalışmaların bir kolu doğal hayata uzanmaktadır ve insanlar da bu kavramları her zaman doğada bulmaktadır. Hayalleri, rüyaları ve gelecek planlarını süsleyen doğa ile bağlantı kurmak modern hayatta engellerle karşılaşsa da biyofilik tasarım ile yaşamın büyük çoğunluğunun geçirildiği mekanlar doğa ile buluşturulabilir. Açık ve kapalı birçok mekânda uygulama şansı bulunabilecek bir kavram olan biyofilik tasarım, tüm bu mekanların işlevselliğini artırıp aynı zamanda da bu mekanları paylaşan kişilerin fiziksel ve ruhsal sağlığına katkı sağlayacaktır.

Mekân tasarımının yer seçiminden konumlandırılmasına, kullanılacak malzemeden tasarımın tüm detaylarına kadar çeşitli uygulanabilir önerilerin bulunabileceği çalışmada, pandemi sonrası yeni normal hayatın mekân tasarımlarına yol gösterici olabileceği düşünülmüştür.

Yazarların Katkısı

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

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Balling, J.D. & Falk, J.H. (1982). Development of visual preference for natural environments. *Environment and Behavior*, 14(1), 5-28.

Bringslimark, T., Harting T. & Patil, G.G. (2007). Psychological benefits of indoor plants in workplace: putting experimental results into context. *American Society for Horticultural Science* 42(3), 581-587.

Coulthard, S. (2020). Biophilia: you, nature, home. *Kyle Books*. London.

- Çorakçı, R. E. (2016). *İç mimarlıkta biyofilik tasarım ilkelerinin belirlenmesi*[Doktora Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Erwin, E.A., Custis, N. & Ronmark, E. (2005). Asthma and indoor air: contrasts in the dose response to cat and dust-mite. *Indoor air*, 15(10), 33-39.
- European Commission Science for Environment Policy. (2015). Thematic issue: noise impacts on health, *Science for Environment Policy*, 47.
- Fell, D.R. (2010). *Wood In the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment* [PhD thesis], The University of British Columbia. Columbia.
- Fromm, E. (1964). The heart of man. *Harper & Row Publishers*. New York.
- Gustafsson, E.U. (1992). The relevance of sleep, circadian rhythm and lifestyle as related to a holistic theory of health. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 6(1), 29-35.
- Kellert, S.R. (2014). Biophilia and biomimicry: Evolutionary adaptation of human versus nonhuman nature. *Intelligent Buildings International*, 8(2), 51-56.
- Kellert, S. & Calabrese, E. (2015). The practice of biophilic design. www.biophilic-design.com adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Kim, G.W., Jeong, G.W., Kim, T.H., Baek, H.S., Oh, S.K., Kang, H.K., Lee, S.G., Kim, Y.S. & Song, J.K. (2010). Functional neuroanatomy associated with natural and urban scenic views in the human brain: 3.0T Functional MR imaging. *Korean Journal of Radiology* 11(5), 507-513.
- Lynn, C.D. (2013). The Psychophysiology of fireside relaxation. *American Journal of Human Biology*, 25 265-265.
- Nature and Forest Therapy. (2018). The Science. www.natureandforesttherapy.org/about/science adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- NHS, (2022). Evidence of Benefits. nhsforest.org/Evidence-Benefits adresinden 01 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Nyrud, A. (2018) Is interior wood use psychologically beneficial? A review of psychological responses toward wood. *Wood and Fiber Science*, 42(2), 202.
- Praag, C.G.D., Garfinkel, S.N., Sparasci, O., Mees, A., et al. (2017). Mind-wandering and alterations to default mode network connectivity when listening to naturalistic versus artificial sounds. *Scientific Reports*, 7, 4527.
- Pollack, M. H. (2006). Telomere shortening and mood disorders: preliminary support for a chronic stress model of accelerated aging. *Biological Psychiatry*, 60(5), 432-435.
- Pornstein, M.H. & Krinsky, S.J. (1985). Perception of symmetry in infancy: The salience of vertical symmetry and the perception of pattern wholes. *Journal of Experimental Child Psychology* 39(1) 1-19.

- Sasaki, Y., Vanduffel, W., Knutsen, T., Tyler, C. & Tootell, C. (2005). Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 3159-3163.
- Suri, L. (2018). Planlamada doğal eşik değerlendirme kriterleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(34), 47-67.
- Şahin, F. & Satıcı, B. (2022). Biyofilik tasarım ve modern mimarlık kesişiminde bir değerlendirme: Carlo Scarpa Mimarlığı. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(2), 21-45.
- Taylor, R.P., Spehar, B., Donkelaar, P.V. & Hagerhall, C.M. (2011). Perceptual and physiological responses to jackson pollock's fractals. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 1-13.
- Ünal, N. (2021). Müstakil yapılarda iç mekân ve çevre ilişkisinin biyofilik tasarım bağlamında ele alınması. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 88-99.
- Wakefield-Rann, R. & Fam, D. (2018). Initiating a transdisciplinary conversation to improve indoor ecologies. *Human Ecology Review*, 24(2), 3-23.
- White, M., Smith, A., Humphryes, K., Pahl, S., Snelling, D. & Depledge, M. (2010). Blue space: the importance of water for preference, affect, and restorativeness ratings of natural and built scenes. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 482-493.
- Wilson, E.O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press. Cambridge.
- Wolverton, B. C. (2021). Interior landscape plants for indoor 1989 air pollution abatement. *NASA Technical Report*. Washington.
- Yadlapalli, S., Jiang, C., Bahle, A., Reddy, P., Meyhofer, E. & Shafer, O.T. (2021). Circadian clock neurons constantly monitor environmental temperature to set sleep timing. *Nature*. 555(7694), 98-102.



STUDYING THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIORS OF ANODIZED METALLIC IMPLANTS FOR IMPROVED CORROSION RESISTANCE

GELİŞMİŞ KOROZYON DİRENCİ İÇİN ELOKSALLI METALİK İMPLANTLARIN ELEKTROKİMYASAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Md. Shafinur MURAD¹

Aybala USTA²
Muhammet CEYLAN⁴

Ramazan ASMATULU³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1109393>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
aybala.usta@marmara.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
26.04.2022

Accepted / Kabul Tarihi
22.06.2022

Abstract

A study about long-term corrosion behavior of anodized and non-anodized Ti6Al4V and MgAZ31B biomaterials was conducted under controlled conditions. By applying 20V DC potential, MgAZ31B alloys was anodized in phosphoric acid and potassium hydroxide while Ti6Al4V alloys was anodized in phosphoric acid and oxalic acid. Long-term experiments were carried out by immersing them in deionized (DI) water, 3% NaCl and phosphate-buffered saline (PBS) solutions. The corrosion rate and pattern were measured by electrochemical analysis. Also, as a result of anodization, the natural oxide layer was observed on the material surface, thus the corrosion rate is reduced and the life of the biomaterial has been improved.

Keywords: Anodization, corrosion, electrochemical behavior, metallic biomaterials.

Öz

Eloksallı ve anodize edilmemiş Ti6Al4V ve Mg AZ31B biyomalzemelerinin korozyon davranışına ilişkin uzun vadeli bir araştırma, kontrollü koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Ti6Al4V fosforik asit ve oksalik asit içinde anodize edilirken, Mg AZ31B fosforik asit ve potasyum hidroksit içinde 20V DC potansiyel uygulanarak anodize edilmiştir. %3 NaCl, fosfat tamponlu salin (PBS) ve deiyonize (DI) su çözeltilerine daldırılarak uzun süreli deneyler yapıldı. Korozyon hızı ve deseni elektrokimyasal analiz ile ölçülmüş ve anotlamanın malzeme yüzeyindeki doğal oksit tabakasını arttırdığı, korozyon hızını azalttığı ve biyomalzemenin ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anotlama, elektrokimyasal davranış, korozyon, metalik biyomalzemeler.

¹Wichita State University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 1845 Fairmount, Wichita, USA. shafinurwsu@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-5680-9859.

²Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Maltepe, Istanbul, Türkiye. aybala.usta@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-6895-3540.

³Wichita State University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 1845 Fairmount, Wichita, USA. ramazan.asmatulu@wichita.edu, Orcid.org/0000-0001-8104-2285.

⁴İstanbul Commerce University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Küçükalya, İstanbul, Türkiye. mceylan@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-6933-2917.

1. INTRODUCTION

Among joint replacements operations, hip and knee replacement are the most commonly performed orthopedic surgeries in the US. According to a Mayo Clinic orthopedics study, 4.7 million US citizens have a knee replacement, and 2.5 million have a hip replacement (Maradit et al., 2014). Being able to use biomaterial implants in the human body, biomaterials must be biocompatible and should not have a harmful reaction (Bidhedi & Pouranvari, 2012). Biomaterial implants must endure the body's internal environment and have the strength to retain the critical period. Moreover, they are not supposed to degrade to a point where they cannot perform as expected. Second, a bioimplant should have high corrosive resistance to sustain enough mechanical strength over a long period. Polymer-based implants may have reduced mechanical efficiency and so have restricted applicability (Kumar et al., 2002; Uchi et al., 2001). In contrast to polymeric implants, metallic implants, which have been considered biomaterials and used in clinical trials since World War II (Manivasagam et al., 2010), exhibit better strength and resistance to fracture. In addition, because of the versatility of fabrication techniques, there is an increasing trend to replace deteriorated and destroyed biological components with metallic implants for artificial organs. However, on the other side, after the tissue has fully healed, it can release toxic ions necessitating a second surgical operation to be removed (Ferreira et al., 2003; Pietak et al., 2008; Rivera et al., 2008).

There have been various materials used in biomedical applications, such as polymers (Üner et al., 2012), ceramics, and metals (Hermawan et al., 2010); however, nowadays, metals are the most extensively used material in biomedical applications (Viteri et al., 2013) and their corrosion is the most important factor since it has a detrimental impact on the mechanical qualities and biocompatibility of the implant. As a result of corrosion and surface oxide film dissolution mechanisms additional ions are introduced into the body, and the excessive release of ions from an implant can lead to harmful biological reactions, consequently resulting in mechanical failure of the prosthesis (Bidhendi & Pouranvari, 2012; Ferreira et al., 2003; Kumar et al., 2002; Manivasagam et al., 2010; Maradit et al., 2014; Pietak et al., 2008; Rivera et al., 2008; Uchi et al., 2001; Willert et al., 1996).

Due to their better biocompatibility and mechanical qualities similar to bone, titanium (Ti) and magnesium (Mg) alloy have recently become the most popular biomaterials for bone implantation in the human body (Burnat et al., 2013; Feng & Han, 2010; Okazaki, 2002; Leinenbach & Eifler, 2006; Poinern et al., 2012; Ravazi et al., 2010; Reifenrath et al., 2011; Shahba et al., 2011). Ti alloys mainly are a proper choice for implantation due to their excellent corrosion resistivity and bio-inertness due to the spontaneous formation of a 2 to 5 nm thick adhesive TiO₂ layer at the surface and the ability to become tightly integrated into bone (Estrada et al., 2019; Lim & Choe, 2019; Nasab et al., 2010). However, primarily due to fatigue failure, Ti-based implants such as artificial joints and bone plates are probably damaged (Okazaki & Gotoh, 2002; Topcu, 2020). Dissolution of Ti²⁺ cations, wearing, and fretting causes corrosion pits which act as nucleation points for fatigue failure (Topcu et al., 2019; Yilmaz et al., 2020). Thus, the fatigue strength of the material decreases (Barril et al., 2002; Komotori et al., 2007). Additionally, metal ions produced by corrosion and wear can cause inflammation, cell apoptosis, and other tissue-damaging effects (Biesiekierski et al., 2012; Wu et al., 2013).

Magnesium and its alloys, as opposed to Ti alloys, are highly bioactive and go through fast degradation in the body, rendering them excellent biomaterials in hard-tissue implants. Due to its matching mechanical and physical properties to cortical bone (Elastic Modulus: Mg: 40–45GPa, Cortical bone: 10–27GPa), stress shielding is prevented. It is also non-toxic, and the body's fourth most abundant cation, as well as the second most abundant intracellular cation. Furthermore, mg is essential for the metabolism at the cellular and enzymatic levels, and almost

50% of the ions are found in bones (Zeng et al., 2008; Zhang et al., 2009; Witte et al., 2008). Therefore, it is taken into the body daily and helps bone strength and development. However, due to their high bioactivity and low corrosion resistance in chloride-rich body fluids whose pH ranges from 7,4 to 7,6, they degrade fast and lose their mechanical integrity. The rapid acceleration of corrosion involves two fundamental problems. First, corrosion of Mg results in a crystalline film of magnesium hydroxide and hypodermic hydrogen gas bubbles that appear during the first week following surgery. Also, Mg particles might detach because of hydrogen stress corrosion, known as the chunk effect (Yun et al., 2009). The second problem is the loss of mechanical integrity between the implant and the surrounding bone tissue, which limits proper tissue regeneration (McCord, 1942; Wen et al., 2001). These drawbacks limit their application as a biomaterial. Hence, the corrosion properties and degradation of Mg-based alloys should be improved for biodegradable implant applications.

The biocompatibility of implants is strongly linked to physical and chemical features of its surface, such as its oxide composition, oxide thickness, surface roughness, and surface free energy. Based on the current project's goal, anodization has the best probability of meeting these requirements. It is an electrolytic oxidation process in which a metal anode is turned into an oxide layer with corrosion-protective and functional qualities. This method can improve coating thickness, hardness, corrosion, and wear resistance while also improving primer adhesion over bare metal. Anodization with a desirable outcome can be achieved upon the careful design of several parameters, such as electrolyte composition (De Oliveria & Antunes, 2018; Hsiao & Tsai, 2005; Ono et al., 2004; Park et al., 2008; Zaffora et al., 2021), anodizing parameters such as current density and voltage (De Oliveria & Antunes, 2018; Li et al., 2008; Mizutani et al., 2003; Ono et al., 2004; Bandeira et al., 2020), substrate effects including purity, the concentration of alloying elements (Hiromoto et al., 2008; Khaselev & Yahalom, 1998; Mizutani et al., 2003), doping elements (Wang et al., 2020; Chatterjee et al., 2022) and substrate type. The applied voltage or current is powerfully influential in the anodizing behavior of the metal. Different passive and active states can be identified based on the applied voltage/current, substrate, and electrolyte (Yerokhin et al., 1999).

According to the Food and Drug Administration, the number of individuals suffering from implants climbed from around 2.500 to more than 5.000 between 2010 and 2011 (Warranty, 2016). Determining a solution to this problem has become necessary to increase the implant product's lifespan by improving its corrosion resistivity. A number of potential techniques for improving the corrosion resistance of implantation material are both expensive and time-consuming. As a result, the goal of this research is to develop a simple and cost-effective anodization method for implanting materials for a particular period of time and studying their corrosion behavior. In the current study, two different alloys, e.g., Ti-alloys (Ti6Al4V) and Mg-alloys (MgAZ31B), were selected to study the corrosion behavior. The corrosion penetration rates of these alloys were determined periodically by performing electrochemical analysis in 3 different electrolytic mediums (deionized (DI) water, 3% sodium chloride (NaCl) solution and phosphate-buffered saline (PBS) solution (1x)) for different periods. The results showed that the anodization process decreases the corrosion rate, and the study provided specific information on the lifespan of the implant in the human body.

The novelty of this study includes the following: (1) for the first time, anodized metallic biomaterials were prepared using phosphoric acid and oxalic acid solutions at different levels, and (2) electrochemical behavior of those biomaterials was investigated for the improved corrosion resistance. This approach has many advantages over other approaches in improving the corrosion resistance for the body conditions. Furthermore, the essential information from the present work can also be used to address other related biomaterials corrosion and degradation issues for different tissue engineering and scaffolding applications.

2. EXPERIMENT

2.1. Materials and Anodization Process

Electrolyte passivation or anodizing was performed on Ti6Al4V and MgAZ31B alloys in different electrolyte solutions. For anodization, the samples were cut from a plate sample. The dimensions of the samples were 100 mm x 35 mm x 1 mm for Mg alloy and 55 mm x 30 mm x 5 mm for Ti alloy. First, using soap and DI water, all samples' surfaces were smoothed, cleaned. Later on, they were dried to clear out debris and carbon precipitation. Then, the electrolyte solution was transferred to the anodization pot where the anodization process would be held. The anode from the voltage supply end was then linked to the sample, with the cathode connected to the electrolyte solution. For Ti6Al4V, the anodization was performed in 0,5 M oxalic acid and 0,4 M phosphoric acid for 60 seconds and 45 seconds. For MgAZ31B, the anodization was performed in 1 N potassium hydroxide (KOH) and 0,4 M phosphoric acid solution for 15min and 4 min. In both instances, the applied voltage (20V) was retained the same. The specimens were removed from the electrolyte solution after anodization and dried appropriately to improve the color, implying the ground oxide layer. Later, specimens were adequately cleaned and dried again for a more extended period to support the surface layer. The same anodization procedure was pursued in all specimens.

2.2. Electrochemical Analysis

Electrochemical study of the corrosion rate for both anodized and non-anodized Ti and Mg alloy test samples were submerged in 3% NaCl solution, PBS solution (1x), and DI water for different time. A 3% NaCl solution (0,5 M) was formulated by dissolving 29,22 g of NaCl crystal salt in 1,000 ml of DI water. 1X PBS solution was prepared by diluting 10X PBS. During the preparation of the PBS solution, the pH was kept in the range of 7,5–7,7, which is the usual pH of the human body. Deionized water was used for the experiments being another immersion environment. For all test samples, Tafel and Nyquist's curves are collected in three different solutions using Gamry corrosion cell and the Gamry reference 600 potentiostat. For the Ti alloy samples, the corrosion rate data were collected every five days in each solution. For the Mg alloy samples, the data were collected on an hourly basis in each solution. In order to obtain accurate corrosion rate data, three to five repeated tests were conducted, and the average value was used to represent each data set. Corrosion rates were investigated after 1.080 hours of immersion for Ti alloy and until pitting started for Mg alloy.

2.3. Optical Microscopy

The surface appearance of the test samples was observed from microscope images of 10x and 20x magnification using a computer-integrated optical microscope (Zeiss Axio Imager). The images were taken before and after the anodization process for all samples periodically.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Anodization of Metallic Implants

The corrosion rate of the metal used for the biomaterial in different corrosive media can be utilized to determine the lifetime expectancy of the biomaterial. This is because the body's internal environment is well buffered and preserved at a pH of around 7,4 at 37°C. Essentially, the harshness of this environment is controlled by two factors. First, as an electrolyte, saline solution promotes corrosion and hydrolysis electrochemical reactions. Second, many cellular and molecular species in tissues are capable of catalyzing specific chemical reactions or destroying some foreign components. Metals used in the human body should have a strong resistance to corrosion in order to have a longer life period. (Uchi et al., 2001).

Anodization is one way of enhancing the corrosion resistivity of a material (Karambakhsh et al., 2012; Nishinaka et al., 2018) in which The metal is submerged in an electrolyte bath, and a circuit is used to conduct the current. While the metal works as an anode, the cathode electrode is put inside the anodizing tank. As the cathode increases the release of oxygen atoms from the electrolyte solution, the anode creates a metal oxide layer. The anodized surface layer thickness varies from a few nm to several μm (Ahmad, 2006; Revie, 2008). Anodization produces metal oxide deposits on a material's surface, thus eliminating more chemical reactions through an electrolytic passivation process (Park et al., 2007). Depending on the material properties being anodized, it could be acidic or basic anodization (Narayanan & Seshadri, 2007). In acid electrolytes such as oxalic acid, sulfuric acid, and phosphoric acid, the rate of anodic film generation is substantially faster than the rate of dissolution for Ti6Al4V. The rate of anodic film generation for MgAZ31B, however, varies with the acid and base solutions, such as phosphoric acid (PhoA) and potassium hydroxide (KOH) solution (Fattah & Joni, 2015; Sul et al., 2001). The bare metal surface is layered with an anodic oxide surface that is corrosion-resistive, decorative, hard, and durable.

Images of anodized Ti6Al4V and MgAZ31B are given in Figure 1. Figures 1B and 1C show a change in surface color of Ti6Al4V following anodization with both phosphoric acid and oxalic acid using a 20V DC current. A smooth surface layer formed on the bare Ti alloy after the anodization. Figures 1D to 1F show anodized and non-anodized MgAZ31B samples. As a result of anodization, the surfaces of the anodized samples are seen to be dark ash color.

The anodization process can be affected by several parameters such as acid concentration, the bath's temperature, additives, current density, reaction time, applied voltage, efficient bath agitation, bath cooling, etc. (Callister & Rethwisch, 2007). In the current work, the anodization process was completed for a different period depending on the materials and the electrolyte solutions. The applied voltage of 20V was held constant in both cases to achieve a similar comparison between the materials in the same setting so that the color could not differ from sample to sample. Even though the anodization layer's thickness changes depending on several parameters, the tests' primary concern was investigating the anodization of the different materials exposed to the same voltage. If stability and consistency can be maintained during the anodization, this process is stable and trustworthy. Otherwise, performing anodization on a single sample would necessitate numerous trials.

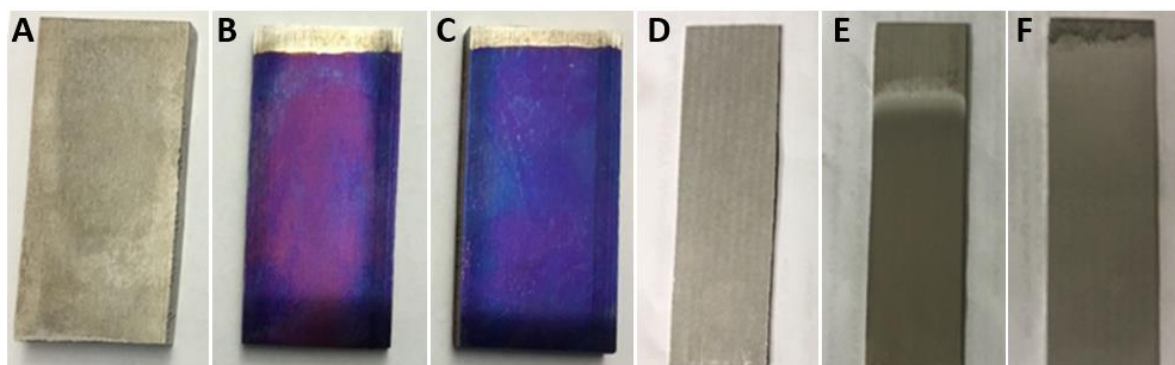


Figure 1. Images of Bare and Anodized Ti and Mg Alloys, (A) Bare Ti6Al4V, (B) Ti6Al4V After Anodization in Phosphoric Acid, (C) Ti6Al4V After Anodization in Oxalic Acid, (D) Bare MgAZ31B, (E) MgAZ31B After Anodization in Phosphoric Acid, (F) MgAZ31B After Anodization in Potassium Hydroxide

3.2. Optical Microscope Images

The difference in grain boundary with and without anodization was captured using optical microscopy pictures. Due to the anodization process, colored layers were formed on the surfaces. The colored surface layers in the microscopic images became more prominent with the increased drying time. The boundary grain of Ti6Al4V was seen with a magnification of 10x and 20x for both anodized and non-anodized samples, as shown in the magnified optical microscopic photographs in Figure 2. Both phosphoric acid and oxalic acid anodization are indicated by a distinct layer of bluish-purple tint.

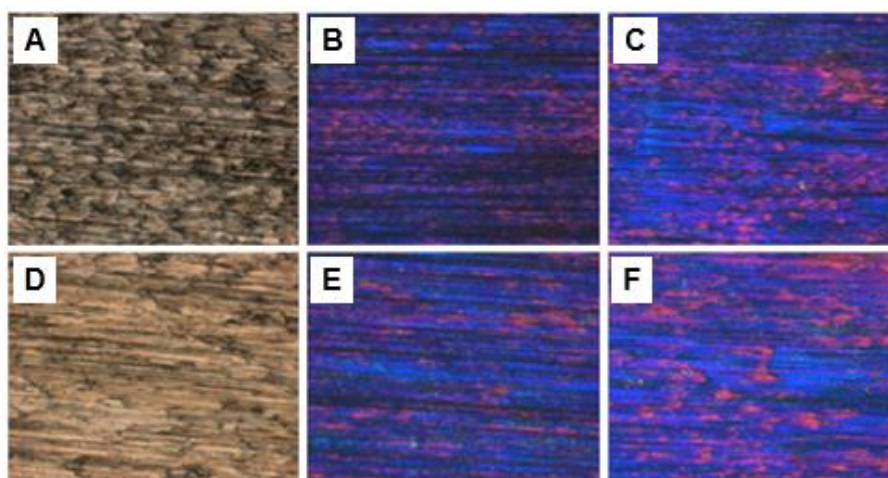


Figure 2. Optical Microscopic Images for Anodized and Non-Anodized Ti6Al4V, (A) Before Anodization (10x), (B) After Anodization in Phosphoric Acid (10x), (C) After Anodization in Oxalic Acid (10x), (D) Before Anodization (20x), (E) After Anodization in Phosphoric Acid (20x), (F) After Anodization in Oxalic Acid (20x)

Figure 3 shows the boundary grain magnified optical microscopic images for MgAZ31B, with magnifications of 10x and 20x for both anodized and non-anodized samples. For potassium hydroxide and phosphoric acid solutions, however, a distinct layer was seen. When anodizing with KOH, the surface smoothness was better, whereas when anodizing in phosphoric acid solution, the smoothness was less.

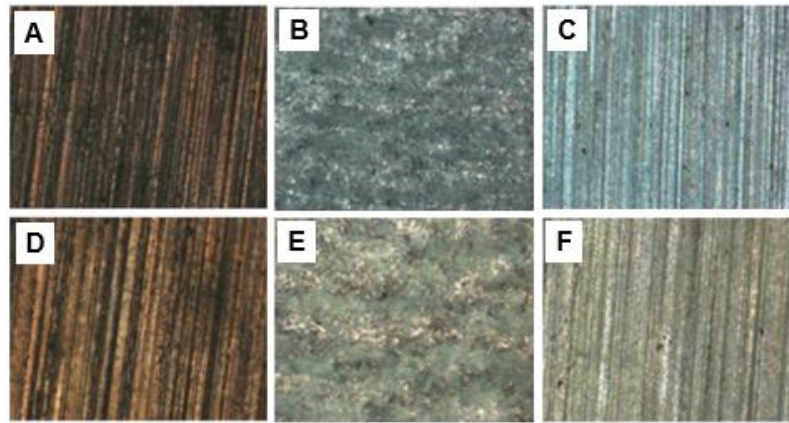


Figure 3. Optical Microscopic Images for Non-Anodized and Anodized MgAZ31B, (A) Before Anodization (10x), (B) After Anodization in Phosphoric Acid (10x), (C) After Anodization in Potassium Hydroxide (10x), (D) Before Anodization (20x), (E) After Anodization in Phosphoric Acid (20x), (F) After Anodization in Potassium Hydroxide (20x)

3.3. Electrochemical Analysis of Corrosion Measurement

Corrosion is the disintegration of metals due to numerous environmental factors to become more chemically stable. It is simply a surface reaction propagating vigorously progressively by affecting the material's integrity. Corrosion causes localized material loss in the presence of a water or salt solution (Schutze, 2000). This electrochemical reaction takes place at the surface and involves the exchange of charges or ions across the solid-liquid interface. Simultaneously, two types of electrochemical reactions occur: the first is an anodic reaction, in which the metal is ionized and a cation forms, which is then hydrolyzed in solution, and the second is a cathodic reaction, in which the produced electrons from the anodic reaction are consumed in the reduction of protons in hydrogen or the reduction of oxygen in water (Marcus, 2011).

Corrosion is a mixed electrode process that operates at a mixed potential or corrosion potential, which is determined by comparing the potential differences between corroding and stable electrodes. This potential can also be utilized to assess the composition of corrosion products and to predict environmental changes that may impede the corrosion attack. In this research, the corrosion rate was calculated from the kinetics of the electrochemical corrosion process. Assume that activation regulates cathodic and anodic reactions on an electrode surface. The corrosion potential is not close enough to the individual cathodic and anodic reaction equilibrium potentials. In that scenario, equations (1) and (2) can be used to calculate the corrosion-reaction kinetics and electrode potential of any reversible half-cell reaction. (Jones, 1996):

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} \quad (1)$$

$$i = i_{\text{corr}} \left[\exp\left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta\right) - \exp\left(\frac{-\beta n' F}{RT} \eta\right) \right] \quad (2)$$

where i the measured current density, i_{corr} is the corrosion current density, F is Faraday's constant, R is the universal gas constant, T is the absolute temperature, and n and n' are the number of electrons transferred in the anodic and cathodic reactions respectively, α and β are coefficients related to the potential drop, and η is the over-potential. When there is a sufficiently large value of applied potential, equation (2) can be simplified to equations (3) to (4) (Jones, 1996; Tan & Revie, 2012). For anodic polarization, when $\eta \gg RT/\beta n' F$,

$$i = i_{corr} \left[\exp \left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta \right) \right] \quad (3)$$

where

$$\eta = -\frac{2.3RT}{\alpha F} \log i_{corr} + \frac{2.3RT}{\alpha F} \log i$$

Similarly, for cathodic polarization, when $-\eta \gg RT/\alpha nF$,

$$i = i_{corr} \left[\exp \left(\frac{-\beta n' F}{RT} \eta \right) \right] \quad (4)$$

where

$$-\eta = -\frac{2.3RT}{\alpha F} \log i_{corr} + \frac{2.3RT}{\alpha F} \log i$$

Hereafter, from equations (3) and (4), the Tafel equation can be obtained as

$$|\eta| = a + b \log i \quad (5)$$

where a and b are the anodic and cathodic polarization constants respectively (Jones, 1996; Tan & Revie, 2012).

In the electrochemical study, all of the samples were evaluated to attain both the Tafel and Nyquist curves for all three solutions. Depending on the Tafel equation and the corrosion rate calculation formula, the corrosion parameters and rate are both provided by Tafel curves. For both anodized and non-anodized Ti and Mg alloys, the experiments were carried out to assess how the corrosion rate changed over time at various intervals. When soaking the samples in various solutions on a regular basis, Nyquist curves revealed the corrosion patterns. The Tafel curve extrapolation method is described in Equation (5). Based on this method, the value of either the cathodic or the anodic current at the intersection is i_{corr} . Extrapolating the linear parts of the Tafel plot back to their intersection, where the over-potential should be zero, is the best technique to measure the corrosion current i_{corr} (Ahmad, 2006; Revie, 2008). Figure 4 shows how to extract corrosion parameters from the Tafel plot, such as corrosion current, i_{corr} , and corrosion potential, E_{corr} . This is one of the most accurate methods for determining a metal's corrosion parameter (Ahmad, 2006). After obtaining the corrosion current or corrosion current density, i_{corr} , the following formulas are used to assess the level of corrosion penetration (Ahmad, 2006):

$$CPR(\mu m/y) = \frac{3,27 M i_{corr}}{n\rho}$$

$$CPR(mpy) = \frac{0,129 M i_{corr}}{n\rho}$$

$$WL(mg/cm^2y) = \frac{0,327 M i_{corr}}{n}$$

Where CPR is corrosion penetration rate, MPY is mili-inch per year, WL is weight loss, i_{corr} is the current density (mA/m^2), M is the atomic weight (g/mol), ρ is density (g/cm^3), and n is valence of the metal ion (Ahmad, 2006).

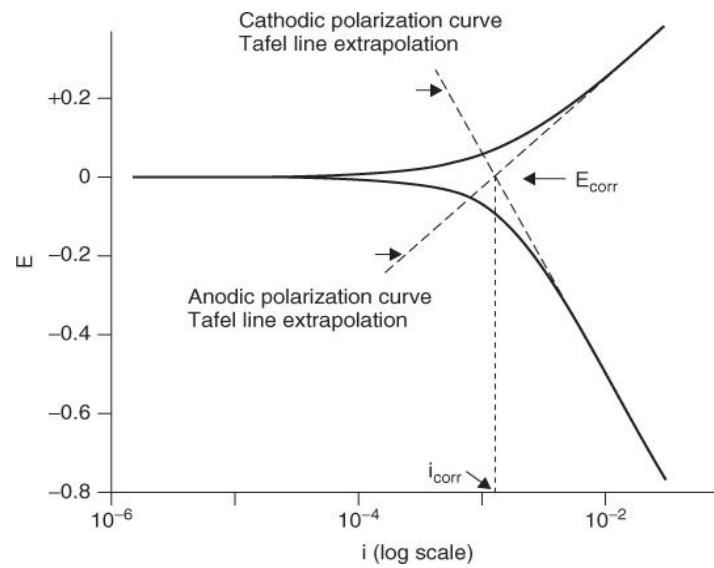


Figure 4. Tafel Curve Extrapolation for Determining Electrochemical Corrosion Parameters (Revie, 2008)

Day-wise, Tafel curves to measure the corrosion behavior of all samples immersed in three different solutions for various periods are plotted. The same equivalent weights and densities were used for the corrosion rate calculation for all samples. From Tafel curves, the corrosion parameters were obtained, and at the same time, Nyquist curves of the corresponding samples were also plotted to further show the same corrosion pattern of the respective samples. A few examples of Tafel and Nyquist plots belonging to Ti6Al4V and MgAZ31B to calculate the corrosion rate are given in Figure 5.

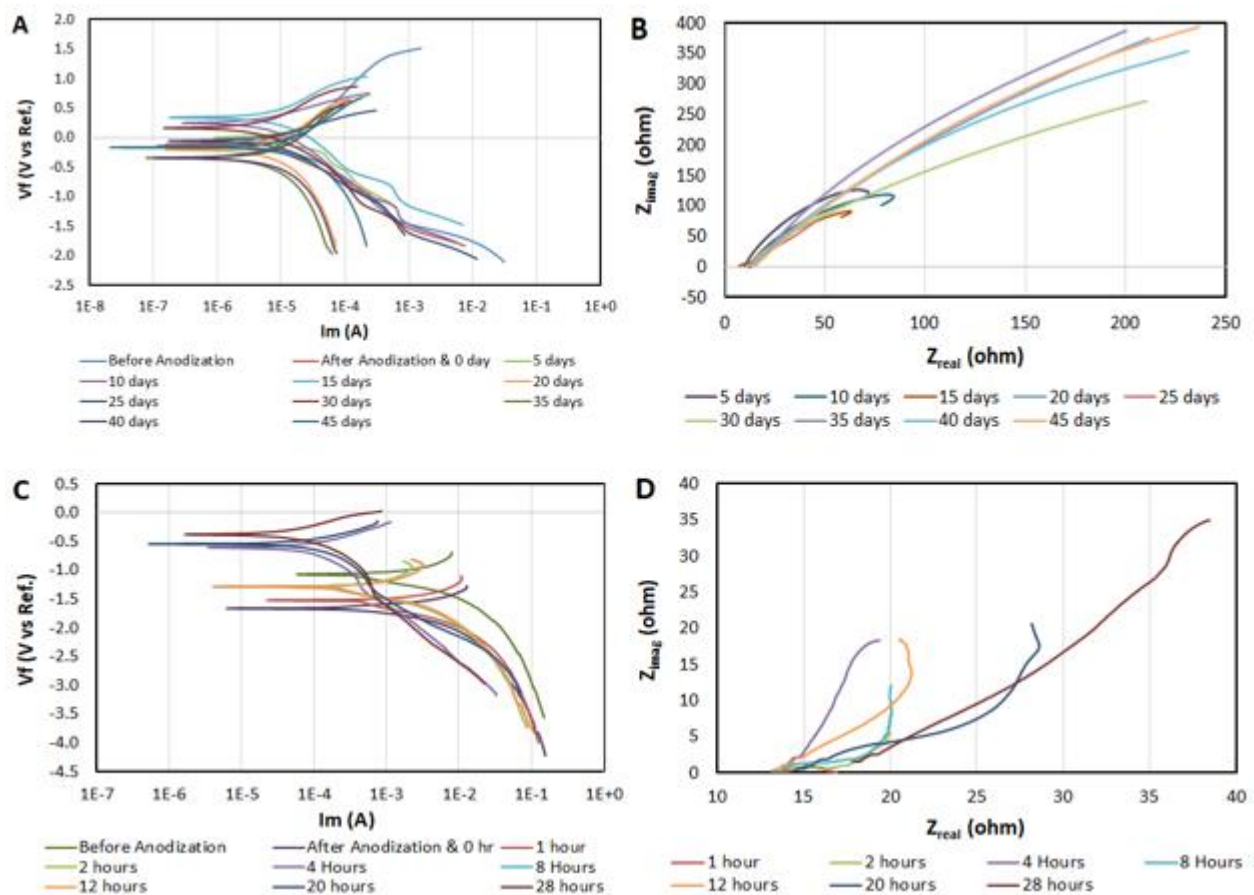


Figure 5. Tafel and Nyquist Plots of Ti6Al4V and MgAZ31B alloys A) Tafel Curves of Anodized (in 0.4 M Phosphoric Acid) Ti6Al4V Immersing in 3% NaCl Solution, B) Nyquist Plots of Anodized (in 0,4 M phosphoric acid) Ti6Al4V Immersing in 3% NaCl Solution, C) Tafel Curves of Anodized (in 0.4 M Phosphoric Acid) MgAZ31B Immersing in 3% NaCl Solution, D) Nyquist Plots of Anodized (in 0,4 M Phosphoric Acid) MgAZ31B Immersing in 3% NaCl Solution

3.4. Corrosion Measurement of Anodized and Non-anodized Ti6Al4V

Electrochemical corrosion tests on anodized and non-anodized Ti-alloy samples immersed in three distinct solutions for gradually longer time periods were carried out on a regular basis. PBS with a pH of 7,4–7,7 was utilized to simulate the typical body condition, whereas 3 percent NaCl solution and DI water were used to reflect the highest and lowest corrosion conditions, respectively. To investigate the relationship between the mentioned variables and the improvement in corrosion resistivity of anodized samples, the primary focus was on establishing and comparing the corrosion behaviors of anodized and non-anodized specimens. This is a simple and reliable method for determining corrosion behavior as well as the rate of corrosion of a material in various solutions in order to determine the life expectancy of biomaterials.

Figure 6A demonstrates the corrosion behavior in the NaCl solution as a function of immersion time. As can be seen, the corrosion rate of both anodized and non-anodized Ti alloys rose with immersion time; however, the rise in non-anodized samples is much greater than the increase in anodized samples with the same immersion time. The corrosion rate for both anodized and non-anodized samples dropped after anodization and rose with increasing immersion duration, eventually stabilizing after 15–20 days for both anodized and non-anodized samples. Furthermore, the corrosion rate of the anodized samples did not grow as much as the corrosion

rate of the non-anodized samples following immersion in the NaCl solution, implying that the anodized sample has superior corrosion resistance than the non-anodized sample.

The corrosion behavior of anodized and non-anodized Ti6Al4V immersed in PBS and DI water, respectively, is shown in Figures 6B and 6C. When corrosion rates for anodized and non-anodized Ti alloys are compared with immersion time in PBS solution, it is discovered that following anodization, the corrosion rate initially decreases and then increases with immersion duration for all samples. However, as compared to the non-anodized sample, which has superior corrosion resistance than the raw Ti6Al4V alloy, the incremental rate for anodized samples is low. After ten days of immersion, the corrosion rate stabilizes. The difference between the corrosion rates of the non-anodized and anodized samples, on the other hand, widens over time, showing that the anodized sample has a reduced corrosion rate.

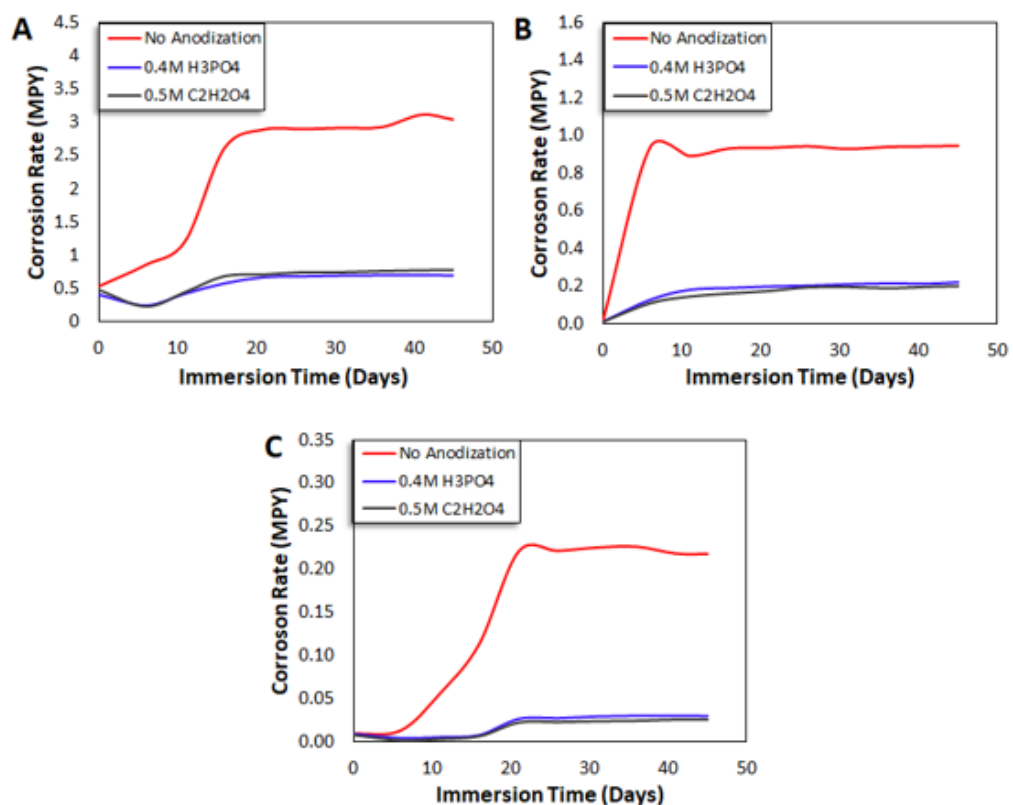


Figure 6. Corrosion Rate of Ti6Al4V Immersed in A) 3% NaCl Solution, B) PBS Solution (1x), and C) DI Water

Figure 7 demonstrates the comparison of corrosion rates of all anodized and non-anodized Ti-alloys. In our study, the peak value of the corrosion rate was chosen to compare the corrosion rate among all the samples. In NaCl solution, bare Ti-alloy samples corrode faster than in PBS solution or DI water. This is an expected scenario of the sodium ions in a salt solution which creates a rigorous corrosion environment. The corrosion rate in NaCl solution reaches 3.1 mpy, which is extremely high when compared to PBS and DI water, which have corrosion rates of roughly 0.9 mpy and 0.2 mpy, respectively. The anodization procedure also increases the corrosion resistance of the Ti-alloy, according to the findings. For varied immersion times, the maximum corrosion rate of Ti6Al4V anodized in 0.5 M oxalic acid is lower than that of 0.4 M phosphoric acid, and even lower in PBS and DI water than in NaCl solution. As a result, it can be stated that anodization has a favorable impact on Ti alloy corrosion resistance, with anodization in oxalic acid having the highest corrosion resistance of all the samples.

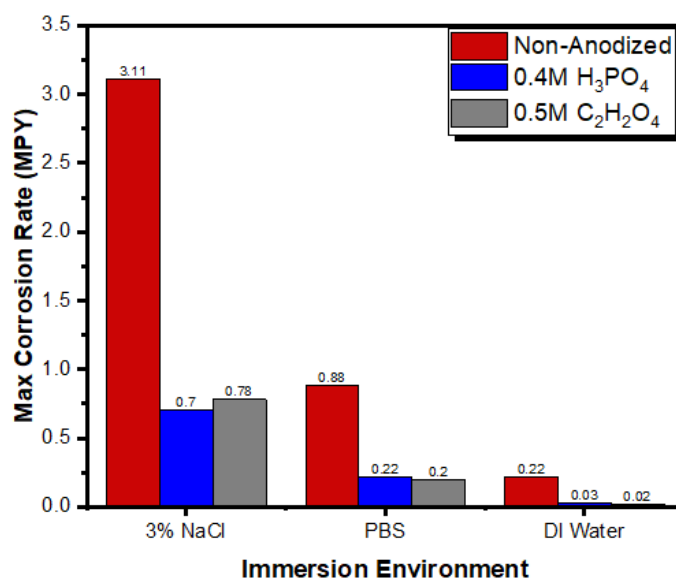


Figure 7. Corrosion Behavior Comparison of Anodized and Non-Anodized Ti6Al4V Immersed in Various Solutions

3.5. Corrosion Measurement of Anodized and Non-anodized MgAZ31B

Corrosion behavior and comparison between non-anodized and anodized MgAZ31B were represented respectively in Figures 8 and 9. In all conditions, the corrosion rate of bare Mg-alloy in NaCl and PBS solutions is higher than in DI water, as shown. Among the NaCl and PBS solutions, NaCl has a greater negative impact on bare Mg-alloy corrosion and pitting (Figure 9). The corrosion and pitting effects of a 3 percent NaCl solution are greater than those of PBS and DI water; nevertheless, due to the anodization process, the maximum corrosion rate is lower than that of non-anodized samples in all circumstances.

The corrosion rate of Mg-alloy samples drops after the anodization process, then climbs and remains constant with immersion time in a 3 percent NaCl solution (Figure 8A). For the non-anodized sample, however, the corrosion rate increases rapidly and then stabilizes after a period of time. A similar trend was also observed in PBS and DI water solution (Figures 8B and 7C)., Corrosion rate drops significantly between 12 to 20 hours of the immersion due to pitting propagation, as it creates holes on the sample surface area by reducing chemical affinity and damaging oxide layer from the surface of the material. In DI water (Figure 8C), the corrosion rate was the lowest before immersion as compared to NaCl or PBS solutions and increased slowly with immersion time. Corrosion currents and voltages were nearly constant, with just small variations.

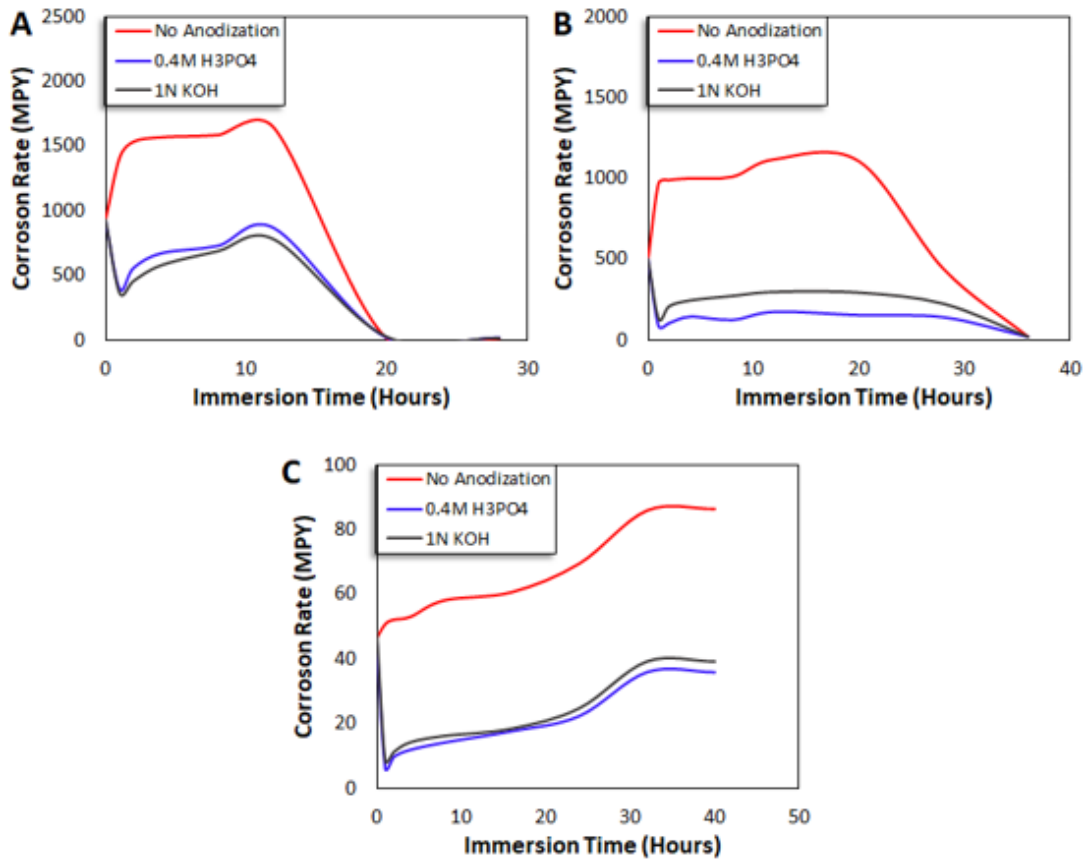


Figure 8. Corrosion Rate of MgAZ31B Immersed in A) 3% NaCl Solution, B) PBS Solution (1x), and C) DI Water

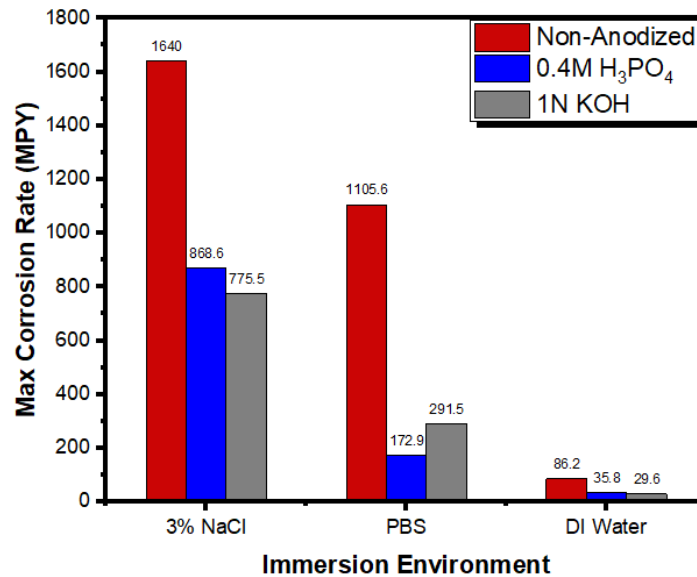


Figure 9. Corrosion Behavior Comparison of Anodized and Non-Anodized MgAZ31B Immersed in Various Solutions

Ti-alloys, on the other hand, were observed to be far more corrosion resistant than Mg-alloys. In NaCl solution, the maximum corrosion rates for anodized Ti6Al4V and MgAZ31B were 0,78447 and 868,63 mpy, respectively. In the same NaCl solution for the same duration of immersion time, the maximum rates of corrosion for non-anodized Ti6Al4V and MgAZ31B were 3,0430 mpy and 1640,02 mpy, respectively. Overall, anodization enhanced the corrosion resistance of

both alloys significantly. This electrochemical modeling approach for corrosion determination might save a time and money. Our findings on the anodization process could help metallic implants and stents last longer.

4. CONCLUSIONS

This study looked at the corrosion characteristics of anodized and non-anodized metallic biomaterial alloys. To compare the lifetimes of the biomaterials samples were immersed in NaCl, PBS, and DI water solutions for varying amounts of time. As a result of the anodization process in various acidic and basic electrolyte solutions, a natural oxide layer formed on the surfaces of biomaterial alloy samples, increasing their corrosion resistance. Pitting is thought to be the cause of corrosion in Mg alloys, which began after about 15–20 hours in the NaCl solution. Furthermore, the corrosion rate of anodized samples did not grow as much as that of non-anodized samples before immersion during prolonged immersion periods. Anodization generates a smooth surface layer on the biomaterial, which minimizes the corrosion rate, according to optical microscopic images. Therefore, it can be established that even in more corrosive mediums, surface modification using anodization improved the corrosion resistance of the biomaterial alloys and increased the lifetime of the metallic biomaterial implant alloys. Our corrosion behavior research could provide unique insight into the biomaterial implants' long-term durability, rather than just a few months. In the future, post-anodizing annealing can be used to demonstrate the influence of thermal treatment on microstructure and, as a result, corrosion resistance. Cytotoxicity studies should also be carried out to determine the biocompatibility and endurance of the oxidized layers in the human body environment.

Contribution of The Authors

All authors contributed equally to this work.

Acknowledgment

The authors greatly acknowledge Wichita State University for its financial and technical support of this study.

Statement of Interest Conflict

There is no interest confliction between the authors.

Data Availability

The raw/processed data required to reproduce these findings cannot be shared at this time as the data also forms part of an ongoing study.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were observed in the study.

REFERENCES

- Ahmad, Z. (2006). Principles of corrosion engineering and corrosion control. *Elsevier*.
- Bandeira, R. M., Rêgo, G. C., Picone, C. A., van Drunen, J., Correr, W. R., et al. (2020). Alternating current oxidation of Ti–6Al–4V alloy in oxalic acid for corrosion-resistant surface finishing. *SN Applied Sciences*, 2(6), 1-14.

- Barril, S., Debaud, N., Mischler, S. & Landolt, D. (2002). A tribo-electrochemical apparatus for in vitro investigation of fretting–corrosion of metallic implant materials. *Wear*, 252(9-10), 744-754.
- Bidhendi, H.R.A. & Pouranvari, M. (2012). Corrosion study of metallic biomaterials in simulated body fluid. *Metallurgical and Materials Engineering*, 17(1), 13-22.
- Biesiekierski, A. Wang, J., Gepreel, M. A. H., & Wen, C. (2012). A new look at biomedical Ti-based shape memory alloys. *Acta Biomaterialia*, 8(5), 1661-1669.
- Burnat, B. Walkowiak-Przybyło, M., Błaszczuk, T., & Klimek, L. (2013). Corrosion behaviour of polished and sandblasted titanium alloys in PBS solution. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 15(1), 87-95.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. (2007). Materials science and engineering: an introduction 7, 665-715. *John Wiley & Sons*, New York.
- Chatterjee, S. (2022). Titanate incorporated anodized coating on magnesium alloy for corrosion protection, antibacterial responses and osteogenic enhancement. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10(4), 1109-1123.
- De Oliveira, L.A. & Antunes, R. A. (2018). Influence of the electrolyte composition on the corrosion behavior of anodized AZ31B magnesium alloy. *Metals - Open Access Metallurgy Journal*, 11(10), 1573.
- De Viteri, V.S. & Fuentes, E. (2013). Titanium and titanium alloys as biomaterials. *Tribology-fundamentals and advancements*, 5, 154-181.
- Estrada-Cabrera, E., Torres-Ferrer, L. R., Aztatzi-Aguilar, O. G., De Vizcaya-Ruiz, A., Meraz-Rios, M. A., et al. (2019). Chitosan-bioglass coatings on partially nanostructured anodized Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications. *Surface and Coatings Technology*, 375, 468-476.
- Fattah-Alhosseini, A. & Joni, M. S. (2015). Effect of KOH Concentration on the Microstructure and Electrochemical Properties of MAO-Coated Mg Alloy AZ31B. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24(9), 3444-3452.
- Feng, A. & Han, Y. (2010). The microstructure, mechanical and corrosion properties of calcium polyphosphate reinforced ZK60A magnesium alloy composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 504(2), 585-593.
- Ferreira, M. E., de Lourdes Pereira, M., e Costa, F. G., Sousa, J. P. & de Carvalho, G.S. (2003). Comparative study of metallic biomaterials toxicity: A histochemical and immunohistochemical demonstration in mouse spleen. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 17(1), 45-49.
- Hermawan, H., Ramdan, D. & Djuansjah, J.R. (2011). Metals for biomedical applications. *Biomedical engineering-from theory to applications*, 1, 411-430.
- Hiromoto, S., Shishido, T., Yamamoto, A., Maruyama, N., Somekawa, H. & Mukai, T. (2008). Precipitation control of calcium phosphate on pure magnesium by anodization. *Corrosion Science*, 50(10), 2906-2913.

- Hsiao, H.Y. & Tsai, W.T. (2005). Characterization of anodic films formed on AZ91D magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 190(2-3), 299-308.
- Jones, D.A. (1996). Principles and prevention of corrosion prentice hall. *Saddle River*. New Jorsey.
- Karambakhsh, A., Afshar, A. & Malekinejad, P. (2012). Corrosion resistance and color properties of anodized Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(1), 121-127.
- Khaselev, O. & Yahalom, J. (1998). The anodic behavior of binary Mg-Al alloys in KOH-aluminate solutions. *Corrosion Science*, 40(7), 1149-1160.
- Komotori, J., Hisamori, N. & Ohmori, Y. (2007). The corrosion/wear mechanisms of Ti-6Al-4V alloy for different scratching rates. *Wear*, 263(1-6), 412-418.
- Kumar, N., Langer, R. S. & Domb, A. J. (2002). Polyanhydrides: an overview. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54(7), 889-910.
- Leinenbach, C. & Eifler, D. (2006). Fatigue and cyclic deformation behaviour of surface-modified titanium alloys in simulated physiological media. *Biomaterials*, 27(8), 1200-1208.
- Li, L. L., Cheng, Y. L., Wang, H. M. & Zhang, Z. (2008). Anodization of AZ91 magnesium alloy in alkaline solution containing silicate and corrosion properties of anodized films. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18(3), 722-727.
- Lim, S.G. & Choe, H. C. (2019). Bioactive apatite formation on PEO-treated Ti-6Al-4V alloy after 3rd anodic titanium oxidation. *Applied Surface Science*, 484, 365-373.
- Maradit-Kremers, H., Crowson, C. S., Larson, D., Jiranek, W. A. & Berry, D.J. (2014). Prevalence of total hip (THA) and total knee (TKA) arthroplasty in the United States. *In Abstract presented at: AAOS Annual Meeting*.
- Manivasagam, G., Dhinasekaran, D. & Rajamanickam, A. (2010). Biomedical implants: corrosion and its prevention-a review. *Recent Patents on Corrosion Science*. 2, 40-54
- McCord, C. P. (1942). Chemical gas gangrene from metallic magnesium. *Indust Med*, 11, 71-78.
- Mizutani, Y., Kim, S. J., Ichino, R. & Okido, M. (2003). Anodizing of Mg alloys in alkaline solutions. *Surface and Coatings Technology*, 169, 143-146.
- Marcus, P. (Ed.). (2011). Corrosion mechanisms in theory and practice. *CRC press*. Florida.
- Nasab, M. B., Hassan, M. R. & Sahari, B. B. (2010). Metallic biomaterials of knee and hip-a review. *Trends Biomater. Artif. Organs*, 24(1), 69-82.
- Narayanan, R. & Seshadri, S. K. (2007). Phosphoric acid anodization of Ti-6Al-4V-Structural and corrosion aspects. *Corrosion Science*, 49(2), 542-558.
- Nishinaka, K., Salman, S. A., Kuroda, K. & Okido, M. (2018). Characterization and Structure Analysis of the Anodic Film Formed on AZ31 Mg Alloy in KOH Alkaline Solution with Various Additives. *In Key Engineering Materials*, 786, 159-164.

- Okazaki, Y. (2002). Effect of friction on anodic polarization properties of metallic biomaterials. *Biomaterials*, 23(9), 2071-2077.
- Okazaki, Y. & Gotoh, E. (2002). Implant applications of highly corrosion-resistant Ti-15Zr-4Nb-4Ta alloy. *Materials Transactions*, 43(12), 2943-2948.
- Ono, S., Miyake, M. & Asoh, H. (2004). Effects of formation voltage and electrolyte ions concentration on the structure and passivity of anodic films on magnesium. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 54(11), 544-550.
- Park, I. S., Jang, Y. S., Kim, Y. K., Lee, M. H., Yoon, J. M. & Bae, T. S. (2008). Surface characteristics of AZ91D alloy anodized with various conditions. *Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of Surfaces, Interfaces and Thin Films*, 40(9), 1270-1277.
- Park, Y. J., Shin, K. H. & Song, H. J. (2007). Effects of anodizing conditions on bond strength of anodically oxidized film to titanium substrate. *Applied Surface Science*, 253(14), 6013-6018.
- Pietak, A., Mahoney, P., Dias, G. J. & Staiger, M. P. (2008). Bone-like matrix formation on magnesium and magnesium alloys. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(1), 407-415.
- Poinern, G. E. J., Brundavanam, S. & Fawcett, D. (2012). Biomedical magnesium alloys: A review of material properties, surface modifications and potential as a biodegradable orthopaedic implant. *American Journal of Biomedical Engineering*, 2(6), 218-240.
- Rivera-Denizard, O., Difffoot-Carlo, N., Navas, V. & Sundaram, P. A. (2008). Biocompatibility studies of human fetal osteoblast cells cultured on gamma titanium aluminide. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(1), 153-158.
- Razavi, M., Fathi, M. H. & Meratian, M. (2010). Microstructure, mechanical properties and bio-corrosion evaluation of biodegradable AZ91-FA nanocomposites for biomedical applications. *Materials Science and Engineering, A*, 527(26), 6938-6944.
- Reifenrath, J., Bormann, D. & Meyer-Lindenberg, A. (2011). Magnesium alloys as promising degradable implant materials in orthopaedic research. *Magnesium alloys—corrosion and surface treatments*, 94-108.
- Revie, R. W. (2008). Corrosion and corrosion control: An introduction to corrosion science and engineering. *John Wiley & Sons*. New York.
- Schutze, M. (2000). Corrosion and environmental degradation. *Wiley-Vch*. Weinheim.
- Shahba, R. A., Ghannem, W. A., El-Shenawy, A. E. S., Ahmed, A. S. & Tantawy, S. M. (2011). Corrosion and inhibition of Ti-6Al-4V alloy in NaCl solution. *Int. J. Electrochem. Sci*, 6(11), 5499-5509.
- Sul, Y. T., Johansson, C. B., Jeong, Y. & Albrektsson, T. (2001). The electrochemical oxide growth behaviour on titanium in acid and alkaline electrolytes. *Medical Engineering & Physics*, 23(5), 329-346.

- Tan, Y. M. & Revie, R. W. (2012). Heterogeneous electrode processes and localized corrosion 13. *John Wiley & Sons*. New York.
- Topcu, İ. (2020). Investigation of wear behavior of particle reinforced AL/B4C composites under different sintering conditions. *Tehnički glasnik*, 14(1), 7-14.
- Topcu, İ., Gulsoy, H. O. & Gulluoglu, A. N. (2019). Evaluation of Multi-Walled CNT particulate reinforced Ti6Al4V alloy based composites creep behavior of materials under static loads. *Gazi University Journal of Science*, 32(1), 286-298.
- Uchi, H., Kanno, T. & Alwitt, R. S. (2001). Structural features of crystalline anodic alumina films. *Journal of the Electrochemical Society*, 148(1), B17-B23.
- Üner, İ. & Koçak, E.D. (2012). Poli (laktik asit)'in kullanım alanları ve nano lif üretimdeki uygulamaları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(22), 79-88.
- Warranty, Nobelbiocarecom, (2016). Retrieved April 21, 2016 from <https://www.nobelbiocare.com/us/en/footer/warranty.html>
- Wang, Y., Zhao, S., Li, G., Zhang, S., Zhao, R., Dong, A. & Zhang, R. (2020). Preparation and in vitro antibacterial properties of anodic coatings co-doped with Cu, Zn, and P on a Ti-6Al-4V alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 241, 122360.
- Wen, C. E., Mabuchi, M., Yamada, Y., Shimojima, K., Chino, Y. & Asahina, T. (2001). Processing of biocompatible porous Ti and Mg. *Scripta Materialia*, 45(10), 1147-1153.
- Willert, H. G., Brobäck, L. G., Buchhorn, G. H., Jensen, P. H., Köster, G., Lang, I., Ochsner P. & Schenk, R. (1996). Crevice corrosion of cemented titanium alloy stems in total hip replacements. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 333, 51-75.
- Witte, F., Hort, N., Vogt, C., Cohen, S., Kainer, K. U., Willumeit, R. & Feyerabend, F. (2008). Degradable biomaterials based on magnesium corrosion. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 12(5-6), 63-72.
- Wu, S., Liu, X., Yeung, K. W., Guo, H., Li, P., Hu, T., Chung, C.Y. & Chu, P. K. (2013). Surface nano-architectures and their effects on the mechanical properties and corrosion behavior of Ti-based orthopedic implants. *Surface and Coatings Technology*, 233, 13-26.
- Yerokhin, A. L., Nie, X., Leyland, A., Matthews, A. & Dowey, S. J. (1999). Plasma electrolysis for surface engineering. *Surface and Coatings Technology*, 122(2-3), 73-93.
- Yilmaz, E. B., Topcu, I. & Ceylan, M., (2020). Experimental investigation on mechanical properties of Multi Wall Carbon Nanotubes (MWCNT) reinforced aluminium metal matrix composites. *Journal of Ceramic Processing Research*, 21(5), 596-601.
- Yun, Y., Dong, Z., Lee, N., Liu, Y., Xue, D., Guo, X. & Sundaramurthy, S. (2009). Revolutionizing biodegradable metals. *Materials Today*, 12(10), 22-32.
- Zaffora, A., Di Franco, F., Virtù, D., Carfi Pavia, F., Ghersi, G., Virtanen, S. & Santamaria, M. (2021). Tuning of the Mg Alloy AZ31 Anodizing Process for Biodegradable Implants. *ACS applied materials & interfaces*, 13(11), 12866–12876.

Zeng, R., Dietzel, W., Witte, F., Hort, N. & Blawert, C. (2008). Progress and challenge for magnesium alloys as biomaterials. *Advanced Engineering Materials*, 10(8), B3-B14.

Zhang, E., Yin, D., Xu, L., Yang, L. & Yang, K. (2009). Microstructure, mechanical and corrosion properties and biocompatibility of Mg–Zn–Mn alloys for biomedical application. *Materials Science and Engineering: C*, 29(3), 987-993.



Araştırma Makalesi / Research Article

HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLAR TRENDİ VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

HYBRID, BATTERY ELECTRIC AND FUEL-CELL VEHICLES TREND AND ASSESSMENT OF SAFETY OBLIGATIONS

Abdullah DEMİR¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1096211>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ademir@marmara.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
31.03.2022

Kabul Tarihi / Accepted
23.06.2022

Öz

TÜİK 2022 yılı Ocak ayı verilerine göre ülkemizdeki otomotiv pazarındaki toplam 25.321.937 adet taşıtın, %54,3'ü yani 13.747.672 adeti otomobil, onun yaklaşık %37,6'sı dizel, %25,6'sı benzinli, %35,8'i LPG'li, %0,7'si yani 96.830 adedi hibrid ve tam elektrikli araçlardan oluşmaktadır. Araçların teknik ömürlerinin %90-95'lik kısmını otoparklarda geçirdiği dikkate alındığında, konunun güvenlik kısmı çok önemli olmaktadır. Bu bağlamda hibrid ve tam elektrikli araçların güvenlik gereksinimi ile kapalı alanlarda ve katlı parklarda park etme yasağı bulunmamaktadır. Henüz ülkemizde satışa sunulmamış olan ancak dünyada kullanımı gittikçe yaygınlaşan yakıt hücreli araçlarla ilgili emniyet gereksinimlerine yönelik belirgin prosedürler oluşturulmamıştır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde; hibrid ve tam elektrikli araçlar ile hidrojen yakıtlı ve yakıt hücreli araçların gelişim seyri, yapılmakta olan çalışmalar ve düzenlemeler incelenmiş; emniyet açısından riskler ve bu risklerin giderilmesine/azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Emniyet gereksinimleri, hibrid araçlar, otoparklar, tam elektrikli araçlar, yakıt hücreli araçlar.

Abstract

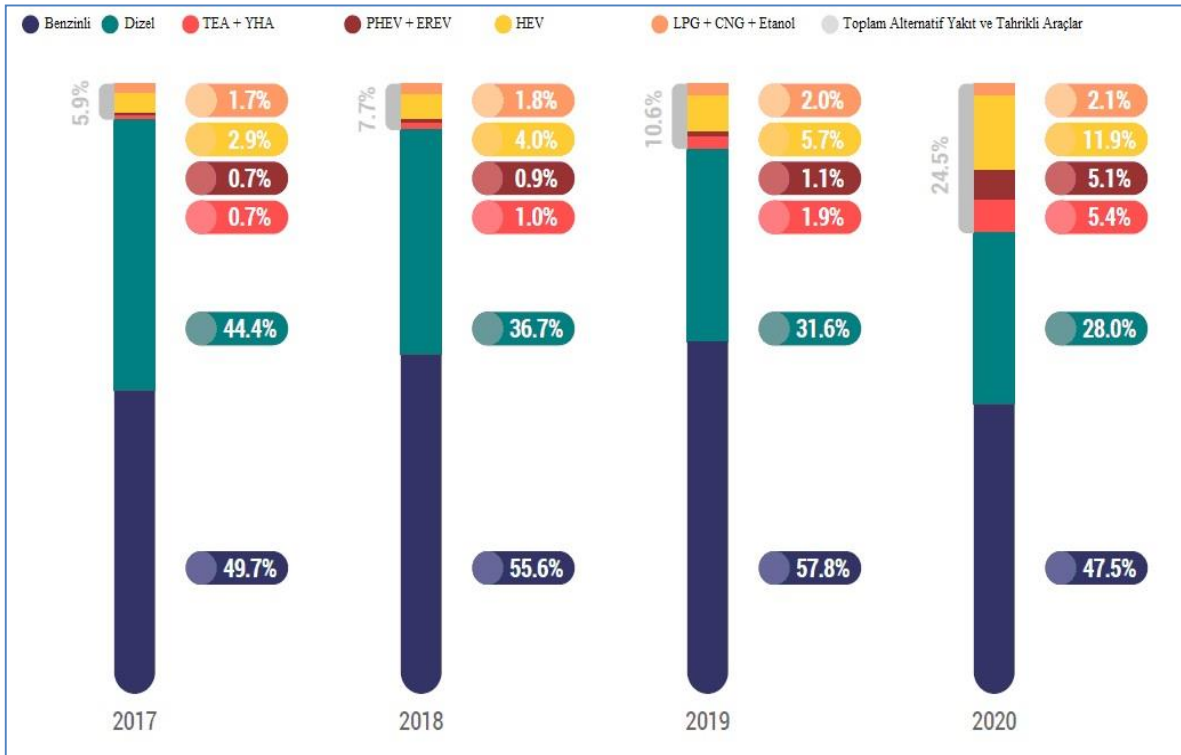
According to data of The Turkish Statistical Institute, January 2022, about 13,7 million of the total 25,3 million vehicles in Turkey, about 37,6% of diesel, 25,6% gasoline, 37,6% LPG, and 25,6% hybrid and battery electric vehicles. Considering that vehicles spend 90-95% of their technical life in parking facility, the safety part of the issue becomes very important. In this context, there is no ban in parking facility due to the safety requirement of hybrid and battery electric vehicles. Specific procedures have not yet been established for the safety requirements of fuel cell vehicles, which have not been offered for sale in our country. In this study, in the world and in our country; the development progress of hybrid and battery electric vehicles, fuel cell vehicles, ongoing studies and regulations are examined; risks in terms of safety and suggestions for eliminating/reducing these risks are presented.

Keywords: Battery electric vehicles, car-parking facility, fuel cell vehicles, hybrid vehicles, safety requirements.

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Maltepe, İstanbul, Türkiye.
ademir@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-4042-7626.

1. GİRİŞ

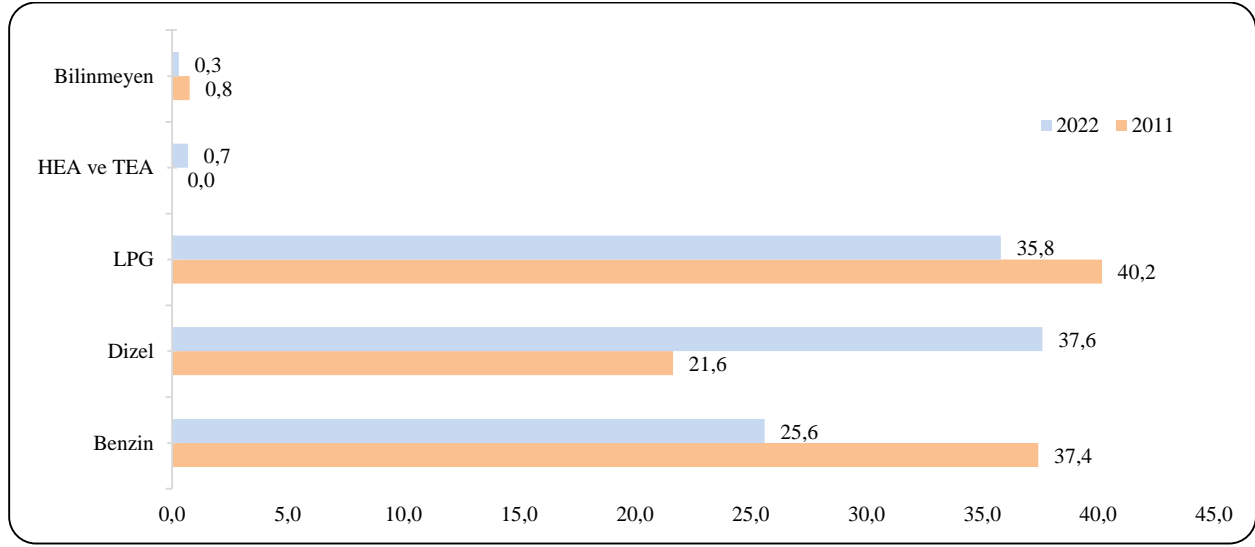
Nüfus ve aktivitelerin artması, teknolojik ilerlemelerin etkisi ile birlikte ulaşım türleri gelişerek çeşitlenmiş ve insanların seyahatleri daha hızlı, konforlu ve güvenli hale gelmiştir. Ulaşım türlerinin çeşitliliğinin artması aynı zamanda kişilerin ihtiyaçlarına göre ulaşım türlerinin tercih edilebilir hale gelmesini de sağlamıştır (Yiğit & Suri, 2020). Artan araç sayısına bağlı olarak, araç bazlı atmosfere salınan zararlı gaz miktarı da hızla artış göstermiştir. İklim değişikliği sorunlarına neden olan bu gazlar, alternatif yakıtların ve tahrik sistemlerinin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Ancak bu tür araçların başarısında; taşıtlar için yüksek ilk yatırım maliyeti, sınırlı yakıt depolama durumları ya da sınırlı menzil gibi sorunlar kısıt olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, emniyet ve yükümlülük konuları, yüksek yakıt dolm maliyetleri, sınırlı dolm/şarj istasyonları, mevcut trendlerdeki gelişmeler gibi aşılması gereken sorunların da olduğu göz ardı edilmemelidir (Romm, 2006). Günümüzde otomobillerde konvansiyonel benzin ve dizel motorlara ek olarak hibrid (HEA) ve tam elektrikli araçlar (TEA) da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Yakın gelecekte hidrojenli (HA) ve yakıt hücreli taşıtlar (YHA) iç pazara giriş yapacaktır. Bu bağlamda konunun sağlıklı değerlendirilmesinde son yıllarda hem nüfus hem de karayolu taşıtlarındaki değişimlerin iyi incelenmesi gerekmektedir. 2016 yılı itibariyle dünya nüfusu 7,5 milyar (Anonymous, 2017) iken, 2022 Mart verilerine göre 7,935 milyara ulaşmıştır (Worldometer, 2022). 2040 yılında ise nüfusun 9,2 milyar olacağı öngörülmektedir (IEA, 2016/a). Dünyadaki toplam taşıt miktarı 2014 yılı verilerine göre 1,2 milyar (Voelcker, 2014) iken, 2022 itibariyle yaklaşık 1,446 milyara ulaşmıştır. Bu araçların yaklaşık %19'u Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır (Hedgescompany.com, 2021). 2020 yılında Avrupa'da satılan tüm araçların yaklaşık %22,4'ü hibrid, tam elektrikli ve yakıt hücreli araçlardan oluşmuştur. Malta ve Bulgaristan hariç Avrupa ülkelerinde 2017-2021 yılları arasında yeni satılan araçların yakıt/tahrik tiplerine göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Bu görünüm hafif ticarilerde %2,9'dur (ACEA, 2021).



Not: Grafikte yakıt hücreli araçlar (YHA) elektrikli araçlara; harici kaynaktan şarj edilebilir hibrid araçlara (PHEV- Plug-in Hybrid Electric Vehicle) menzili arttırılmış elektrikli araçlar (EREV-Extended Range Electric Vehicle) dahil edilmiştir. Alternatif yakıtlar olarak; CNG, LPG ve etonal yakıtlı araçlar dikkate alınmıştır.

Şekil 1. EU Ülkelerinde 2017-2021 Yılları Arasında Yeni Satılan Araçların Dağılımı (ACEA, 2021)

Ülkemizdeki durum ise 2022 yılı Ocak ayı verilerine göre toplam pazardaki 25.321.937 adet taşıtın, %54,3'ü yani 13.747.672 adeti otomobil, onun yaklaşık %37,6'sı dizel ve %25,6'sı benzinli, %35,8'i LPG'li, %0,7'si hibrid ve tam elektrikli araçlardan oluşmaktadır. 2011 ve 2022 yılındaki otomobil pazarındaki değişim durumu ise Şekil 2'de verilmiştir. 2011 yılında 47 adet HEA ve TEA satışı gerçekleşirken; 2022'nin Ocak ayı itibariyle toplam 96.830 adet satış gerçekleşmiştir (TÜİK, 2022). Ayrıca ülkemizdeki e-mobilite dönüşümüne de kısaca değinmek gerekir. E-mobilite dönüşümünün en temel bileşenleri; kamu, özel sektör ve akademinin etkin işbirliğine bağlıdır. Bu dönüşümde gelişim alanları ve fırsatlar Şekil 3'te verilmiştir. Ancak şekilde ve dokümanda gerekli mevzuatlar ve güvenlik gereksinimlerine yeterince dikkat çekilmediği tespit edilmiştir (IICEC, 2021). Kuvvetle muhtemel bu gelişim alanları ve fırsatların iyi yönetilmesi ile "Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"te PHEV ve TEA'ların şarj edilebilmelerine yönelik düzenlemeler TOGG'un pazar penetrasyonunu hızlandıracaktır.



Şekil 2. 2011 ve 2022 Yılındaki Otomobil Pazarındaki % Değişim Durumu (TÜİK, 2022)



Şekil 3. Ülkemizde E-Mobilite Dönüşümde Gelişim Alanları ve Fırsatlar (IICEC, 2021)

Araçların teknik ömürlerinin %90-95'lik bölümünün yol kenarı ve yol dışı otoparklarda geçtiğini dikkate aldığımızda (Litman, 2006; Yardım, 2009; Demir, 2019) konunun güvenlik kısmı çok önemli olmaktadır. Sürdürülebilir ve yaşanabilir bir şehir için uzun süre mekan bağlılığına sahip olan araçların otoparklara park etmesi; yönetim, çevre, emniyet, teknolojik (Demir, 2019) ve çalışanlar için sağlıklı çalışma ortamı sağlayacak düzenlemelerle/enstrümanlarla donatılmalıdır. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde; HEA, TEA, HA ve YHA'ların gelişim seyri, güvenli park etmeye yönelik yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar ve düzenlemeler incelenmiş; emniyet açısından riskler ve bu risklerin giderilmesine/azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2020 Ulusal Elektrikli Mobilite Misyona Planında (The National Electric Mobility Mission Plan 2020), 2020 yılına kadar her yıl 6-7 milyon hibrid ve tam elektrikli araç satışının gerçekleştirilmesi hedefi koyulmuştur (IEA, 2016/b). 2030 yılına kadar dünyada 1,5 °C'lik sıcaklık artış hedefine gidecek yolda ilerlenmesi için temiz enerji projelerine ve altyapısına yapılan yıllık yatırımların yaklaşık 4 trilyon dolara yükselmesi gerekmektedir (World Energy Outlook, 2021). Net sıfır emisyon (Net zero emissions - NZE) gibi dönüştürücü enerji sistemlerinde, verimlilik iyileştirmeleri, mobilite için elektriğe geçiş (tam elektrikli araçlar) ve ısıtma için fosil yakıtlarla çalışan kazanların tasfiyesi sayesinde hanelerin enerji ihtiyaçlarını karşılamak için petrol ve gazı daha az bağımlı hale getirilmesi hedeflenmiştir (Dunyaenerji, 2021). Bu bağlamda dünya genelinde NZE'de, PHEV ve TEA'ların satış değerleri, 2020'deki toplam otomobil satışlarının %4,6'sından 2030 yılına kadar yaklaşık %60 düzeylerine yükseltilmesi gerekmektedir. Tam elektrikli araçların ekonomik potansiyeli farklı karayolu taşıtı segmentlerinde bölgesel düzeyde değerlendirilmiştir. Ekonomik olmayan engeller göz ardı edilirse, küresel elektrikli otomobil pazarının maliyet etkin bir şekilde 2030 yılına kadar 250 milyonu aşacağı öngörülmektedir. Bu değer açıklanan taahhüt senaryosu (Announced Pledges Scenario-APS)'ndan yaklaşık %30 daha yüksek ve NZE'den ise yaklaşık %15 daha düşüktür (World Energy Outlook, 2021). Ulaşım sektöründe 2050 net sıfır emisyon senaryosundaki CO₂ hedefleri 10'ar yıllık aralıklarla Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 2050 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda Ulaşım Sektörü (World Energy Outlook, 2021)

| Ulaşım Sektöründeki Hedefler | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--|------|------|------|------|------|
| Otomobillerin CO ₂ emisyon miktarı (g/km) | 231 | 200 | 106 | 34 | 4 |
| Ağır vasıta araçların CO ₂ emisyon miktarı (g/km) | 984 | 898 | 589 | 273 | 54 |
| Havacılık ve denizcilikte düşük karbonlu yakıt kullanımının payı (%) | 0 | 0 | 17 | 51 | 81 |
| PHEV, TEA ve YHA'nın toplam otomobil satışları içindeki payı (%) | 0 | 5 | 64 | 100 | 100 |
| PHEV, TEA ve YHA'nın toplam ağır vasıta satışlarındaki payı (%) | 0 | 0 | 30 | 84 | 99 |

Türkiye'de Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu (TEHAD) raporuna göre 2021 yılında en çok satılan tam elektrikli araç Renault ZOE olurken; hibrid otomobil pazarında ise Toyota Corolla Hibrid toplam pazarın büyük bir bölümüne sahip olmuştur. Özellikle C ve üstü premium segmentte satış rakamlarındaki artışın dikkate değer olduğu gözlemlenmektedir. HEA tarafında ise Toyota pazarın %94'ünü elinde bulundurmaktadır. Toyota'nın bu anlamda ülkemizdeki elektrikli dönüşümü hızlandırdığı söylenebilir (TEHAD, 2022). Son 12 yıl¹ içerisinde ülkemizde HEA ve

¹ TÜİK, hibrid ve tam elektrikli araçlar satış değerlerini 2011 yılından itibaren tutmaya başlamıştır.

TEA'ların satış değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Toplam pazardaki payı küçük olmasına rağmen, son 3 yıldaki artışlar belirgin düzeylere erişmeye başlamıştır. Sabancı Üniversitesi tarafından hazırlanan raporda “Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021” raporunda “2053 net-sıfır emisyon hedefi ve temiz enerji dönüşümü ekseninde, somut, gerçekçi ve ulaşılabilir politika hedeflerinin belirlenmesi, yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların uygulanması” önerisine “2030 yılında en az 2 milyon elektrikli araç ve 200.000'in üzerinde kamuya açık şarj soketine ulaşacak yol haritasının hayata geçirilmesi” gerektiği belirtilmiştir (IICEC, 2021). Ancak sektörün görünümü dikkate alındığında gerçekleşmesi güç bir hedef gibi durmaktadır.

Tablo 2. Trafiğe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı, 2004 – 2022 (TÜİK, 2022)

| Yıl | Toplam | Benzin | (%) | Dizel | (%) | LPG | (%) | Hibrit-TEA | (%) | Bilinmeyen | (%) |
|-------------|-------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|---------------|------------|---------------|------------|
| 2004 | 5 400 440 | 4 062 486 | 75,2 | 252 629 | 4,7 | 793 081 | 14,7 | - | - | 292 244 | 5,4 |
| 2005 | 5 772 745 | 3 883 101 | 67,3 | 394 617 | 6,8 | 1 259 327 | 21,8 | - | - | 235 700 | 4,1 |
| 2006 | 6 140 992 | 3 838 598 | 62,5 | 583 794 | 9,5 | 1 522 790 | 24,8 | - | - | 195 810 | 3,2 |
| 2007 | 6 472 156 | 3 714 973 | 57,4 | 763 946 | 11,8 | 1 826 126 | 28,2 | - | - | 167 111 | 2,6 |
| 2008 | 6 796 629 | 3 531 763 | 52,0 | 947 727 | 13,9 | 2 214 661 | 32,6 | - | - | 102 478 | 1,5 |
| 2009 | 7 093 964 | 3 373 875 | 47,6 | 1 111 822 | 15,7 | 2 525 449 | 35,6 | - | - | 82 818 | 1,2 |
| 2010 | 7 544 871 | 3 191 964 | 42,3 | 1 381 631 | 18,3 | 2 900 034 | 38,4 | - | - | 71 242 | 0,9 |
| 2011 | 8 113 111 | 3 036 129 | 37,4 | 1 756 034 | 21,6 | 3 259 288 | 40,2 | 47 | 0,0 | 61 613 | 0,8 |
| 2012 | 8 648 875 | 2 929 216 | 33,9 | 2 101 206 | 24,3 | 3 569 143 | 41,3 | 228 | 0,0 | 49 082 | 0,6 |
| 2013 | 9 283 923 | 2 888 610 | 31,1 | 2 497 209 | 26,9 | 3 852 336 | 41,5 | 436 | 0,0 | 45 332 | 0,5 |
| 2014 | 9 857 915 | 2 855 078 | 29,0 | 2 882 885 | 29,2 | 4 076 730 | 41,4 | 525 | 0,0 | 42 697 | 0,4 |
| 2015 | 10 589 337 | 2 927 720 | 27,6 | 3 345 951 | 31,6 | 4 272 044 | 40,3 | 889 | 0,0 | 42 733 | 0,4 |
| 2016 | 11 317 998 | 3 031 744 | 26,8 | 3 803 772 | 33,6 | 4 439 631 | 39,2 | 1 160 | 0,0 | 41 691 | 0,4 |
| 2017 | 12 035 978 | 3 120 407 | 25,9 | 4 256 305 | 35,4 | 4 616 842 | 38,4 | 1 685 | 0,0 | 40 739 | 0,3 |
| 2018 | 12 398 190 | 3 089 626 | 24,9 | 4 568 665 | 36,8 | 4 695 717 | 37,9 | 5 367 | 0,0 | 38 815 | 0,3 |
| 2019 | 12 503 049 | 3 020 017 | 24,2 | 4 769 714 | 38,1 | 4 661 707 | 37,3 | 15 053 | 0,1 | 36 558 | 0,3 |
| 2020 | 13 099 041 | 3 201 894 | 24,4 | 5 014 356 | 38,3 | 4 810 018 | 36,7 | 36 487 | 0,3 | 36 286 | 0,3 |
| 2021 | 13 706 065 | 3 495 172 | 25,5 | 5 158 803 | 37,6 | 4 923 275 | 35,9 | 92 949 | 0,7 | 35 866 | 0,3 |
| 2022 | 13 747 672 | 3 522 102 | 25,6 | 5 166 289 | 37,6 | 4 926 618 | 35,8 | 96 830 | 0,7 | 35 833 | 0,3 |

Otomobillerde kullanılan bir diğer seçenekte hidrojenidir. Hidrojen sıvı ya da gaz olarak araçlarda doğrudan kullanılabilir gibi, yakıt hücresinde de kullanılabilir. Hidrojen; gaz fazında 350-700 bar basınç mertebelerinde ya da sıvı fazda -253 °C'de karyojenik (aşırı soğutulmuş) tanklarda depolanabilmektedir (Anonymous, 2002). 2035'li yıllara kadar tüm yeni ulaşım araçlarının %5'inde hidrojen kullanılacağı öngörülmektedir (Beiker, 2010). Bu bağlamda hidrojen yakıt hücreli araçlar (HYHA) ile polimer elektrolit membranlı yakıt hücresi (PEMFC) kullanılarak gerçek dünya koşullarında 20 milyon kilometreden fazla yol kat edilmiştir. Yakıt hücresi maliyetleri 2002'den 2019 yılına kadar %80 oranında azalırken, dayanıklılıkta ise dört kat artışla 120.000 milin (193.000 km) üzerine çıkmıştır. Bu gelişmeler günümüzde otomotiv şirketlerinin HYHA kiralamasının yolunu açmış, küresel HYHA satış miktarı ise 2018 yılında 11.200 adede ulaşmıştır (Üçok, 2019). Information Trends'e göre, tüm zamanların en yüksek seviyesine 2021 yılında satılan 16.000 HYHA miktarı ile ulaşılmıştır (Prnewswire, 2022). HYHA ve hidrojen dolmuş istasyonu (HDİ) kurulumunu yaygınlaştırmak için bazı ülkelerde; halka açık otoparklardan ücretsiz yararlanma ve yol ücreti muafiyeti gibi teşvikler getirilmiştir. 2030 hedefi ise dolmuş istasyonu sayısının 1000'e çıkarılmasıdır (Üçok, 2019). Ayrıca bazı ülkelerin açıkladıkları HYHA pazar hedefleri Tablo 3'de verilmiştir. Otomotiv yakıt hücresi pazarının 2021 yılında 20.168 adet ve %62,2'lik bir bileşik yıllık büyüme hızı ile 2021'den 2028 yılına kadar 596.225 adede ulaşacağı tahmin edilmektedir. Pazar için temel büyüme faktörleri, benzin ve dizelden daha yüksek

verimlilik, rekabetçi menzil sunmaları, hızlı yakıt ikmali, teşvikler ve yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesine yönelik yatırımlar ve ulaşım sektöründe yakıt hücresi kullanımının artma eğiliminde olmasıdır (Global Forecast, 2028).

Tablo 3. Bazı Ülkelerin Açıkladıkları HYHA Pazar Hedefleri (Üçok, 2019)

| | 2020 | 2023 | 2025 | 2028 | 2030 |
|----------|--------|--------|---------|--------------|-----------|
| ABD | 13.000 | 40.000 | | | |
| Japonya | 40.000 | | 200.000 | | 800.000 |
| Fransa | | 5.000 | | 20.00-50.000 | |
| Çin | 5.000 | | 50.000 | | 1.000.000 |
| Hollanda | 5.000 | | | | |
| Kore | 10.000 | | 100.000 | | 630.000 |

Halihazırda HEA ve TEA'ların kapalı yer altı otoparklarını kullanmaları hususunda dünyada herhangi bir yasak bulunmamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda yangın durumlarındaki güvenlik gereksinimleri incelenmiştir. Matsumura ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada yüksek sıcaklık ortamındaki lityum-iyon hücrelerin, duman veya parlama yayan termal kaçaklara neden olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda bir araçtaki lityum-iyon batarya sıcaklık girdisini araştırmak için hibrid bir elektrikli araç yangınının durumu ve sıcaklık özellikleri incelenmiştir. Başka bir araçtan sızan benzinin bir aracın altına yayılıp tutuşacağı varsayılan bir kaza senaryosu tasarlanmıştır. Araç yangın testinde, tahrik batarya (traction battery) grubu olmayan lityum-iyon bataryalı hibrid bir aracın altına yayılıp tutuşturulmuştur. Taşıtın içine ve altına termokapl yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bu testte araç yangını fotoğraf ve videolarla kaydedilmiştir. Bu yangın testindeki bazı kriterlere göre; erişim zamanı, devam etme süresi ve en yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür. Sun ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise lityum-iyon gibi yüksek enerjili bataryaların yangınlarda, hibrid ve tam elektrikli araçlar için büyük bir güvenlik riski oluşturabileceği belirtilmiştir. Çalışmada, lityum-iyon pillerdeki termal kaçak ve yangınla ilgili en son yangın güvenliği sorunlarına odaklanılmış ve araçlardaki batarya yangınları incelenmiştir. Araçtaki batarya grubu bir kez yangına karıştığında, araç yangınlarını söndürmek güçleşebilmektedir. Yangının söndürülmesinde batarya grubunu soğutmak, yangını söndürmek ve yeniden tutuşmayı önlemek için aşırı miktarda yangın söndürücü maddeye ihtiyaç duyulabileceğine dikkat çekilmiştir.

Bir diğer hususta HYHA'lar için bazı emniyet konularının açıklığa kavuşturulmasıdır. Swain (2001) tarafından yürütülen bir çalışmada hidrojen ve benzin yakıtlı araçlarda kasti olarak sızıntı meydana getirilerek yakıtlar tutuşturulmuştur. Tutuşmadan 60 s sonra hidrojen yakıtlı araçtaki alev azalırken, benzinli araçtaki yangın daha da şiddetlenmiştir. 100 s sonra ise hidrojen tamamen bitmiş ve aracın içerisi zarar görmemiştir. Benzin birkaç dakika daha yanmaya devam etmiş ve araç tamamen zarar görmüştür. Spoelstra (2021) tarafından yapılan bir çalışmada hidrojenin; tankın ani arızalanması, tahliye vanasından sürekli sızıntı veya küçük bir açıklıktan/çatlaktan sürekli salınma yoluyla sızıntı yapabileceğine dikkat çekilmiş; bu sızıntılara; çarpışma, yangın veya mikro çatlakların neden olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda; *“Otoparklardaki hidrojen yakıtlı araçları içeren olay senaryoları (yangına karışma dahil) ne ölçüde hidrojen salınımına neden olur ve bunun muhtemel sonuçları”, “Etkilerin niteliği ve kapsamı için belirleyici koşulların neler olduğu” ve “Bir otoparkta hidrojen salınma olasılığı ve salınan hidrojenin tutuşma olasılığı hakkında bilinenlerin neler olması gerektiği”* gibi sorular önemlidir (Spoelstra, 2021). Bu minvalde bazı yaklaşımlar sunulmuştur. Winkel ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada yakıt hücrelerinin dayanıklılık ve emniyetlilik gerekleri açısından konvansiyonel araçların yaklaşık 14 yıllık teknik ömrüyle karşılaştırılabilmesi gerektiği belirtilmiştir. Khayyat ve Unnasch (2005) tarafından yapılan bir çalışmada HYHA'ların, hidrojen depolama ve yapı geliştirme

çalışmaları için hazırlık mahiyetinde iyi neticeler verdiği tespit edilmiştir. Hidrojenli yakıt hücresi uygulamalarına yönelik teknolojinin gelişimi esnasında, otomotiv taşıt emniyetini de içeren bütün fonksiyonel yönlerin düşünülmesi gerektiği belirtilmiş, hidrojen yakıt hücre sisteminin performansını optimize etmek ve emniyet konseptini genişletmek için sisteme hidrojen sensörleri monte edilmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir. Venturi ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise gerçek taşıt verilerine dayalı olarak sensörlerin optimizasyonu, yenilikçi test ve geliştirme metotları üzerinde durulmuştur.

Ülkemizde hâlihazırda HEA ve TEA'ların kapalı yeraltı otoparkları kullanmaları hususunda herhangi bir yasak bulunmamaktadır. Ancak konvansiyonel araçlardan yapılacak hibrid ve tam elektrikli dönüşümlerde kullanılacak batarya teknolojileri önemli olacaktır. Ancak bu durumda daha farklı bir sorun ortaya çıkaracaktır, oda bu araçların takibinin nasıl yapılacağı hususudur. Henüz HYHA'lar ülkemizde satışa sunulmadığından yapılan araştırmalarda belirgin bir düzenlemeye rastlanılamamıştır. Ancak sürecin sağlıklı ve hızlı yürütülebilmesi için gerekli düzenlemelerin acilen yapılması gerekmektedir.

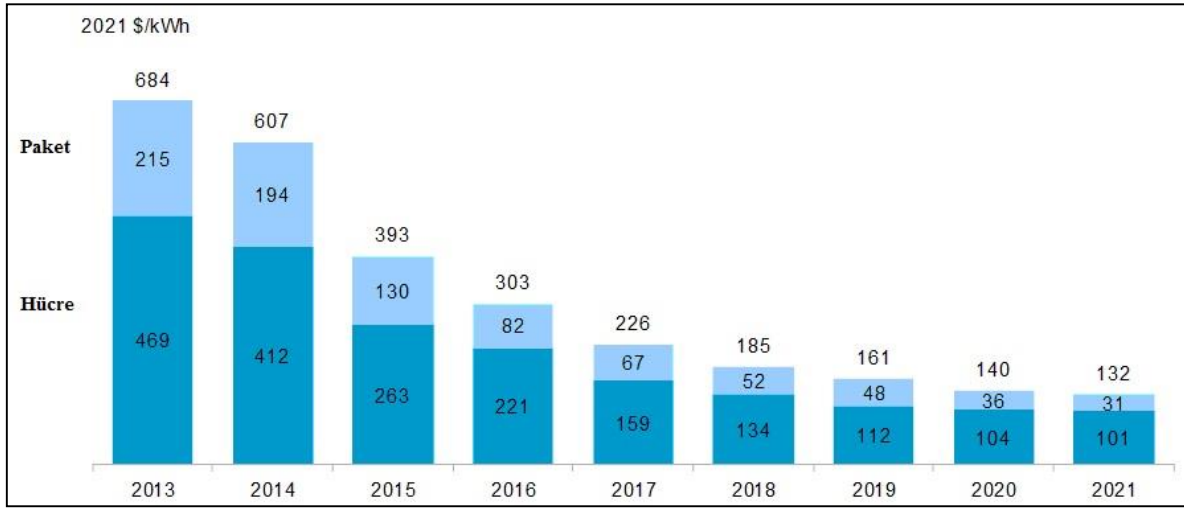
3. HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLARA YÖNELİK DÜZENLEMELER VE EMNİYET YÜKÜMLÜLÜKLERİ

HEA, TEA, HYA ve YHA'lar otomotiv firmalarının özellikle düşük ya da sıfır emisyonlu araçlar pazarına yönelik stratejilerinde önemli bir rol oynamaktadır. Karayolu taşıtlarındaki alternatif enerji ve tahrik sistemleri aynı zamanda araç trendlerinin de belirleyicisi hükmündedir. Tablo 4'de alternatif yakıt ve tahrik sistemine sahip olan araçların kapalı otoparkları kullanabilmelerine yönelik kaygılar ve emniyet yükümlülüklerine yer verilmiştir.

3.1. HEA ve TEA'lar

HEA'lar, tahrik amacıyla, depolanmış enerjiyi/gücü araç üzerindeki tüketilebilir yakıttan ve/ya bataryadan, kapasitör, volan/dinamo veya diğer elektrikli enerji/güç depolama ünitelerinden çeken araçlardır (Anonim, 2009). Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun Teknik Komitesi tarafından verilen tanıma göre; HEA'lar, enerjinin iki ya da daha fazla enerji deposundan sağlandığı ve bu enerji depolarından en az bir tanesinin elektrik enerjisi verdiği bir araç olarak tanımlanmıştır. Diğer bir tanıma göre HEA, daha çok hem içten yanmalı motor (İYM) hem de elektrikli motorun kullanıldığı araç olarak kabul edilmektedir. TEA'lar ise, depolanan ya da üretilen tüm itici gücü elektrik olarak kullanmaktadır. Bu tip araçlarda ana güç kaynağına ek olarak yardımcı güç kaynakları da bulunmaktadır. Elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektriksel enerji bataryalardan elde edilmektedir. TEA'ların şarj edilebilir bataryalarında depolanmış bulunan elektrik enerjisi motor kontrolörüne güç sağlamaktadır. Motor kontrolörü gaz pedalının pozisyonuna bağlı olarak elektrik motoruna gidecek gücün miktarını ayarlamaktadır (Anonymous, 2009).

Hem HEA hem de TEA'lar, düşük emisyon düzeylerinin yanısıra; yakıt tüketimi, sürüş konforundaki iyileşme ile bugün ve yarının taşıt performans gereksinmelerini sağlayacak potansiyele sahiptirler (Christiaens ve ark., 2012). Bu araçların en kritik bileşeni tabii ki batarya teknolojisidir. Son yıllarda batarya teknolojisinde kat edilen teknolojik ilerlemeler incelendiğinde çok büyük mesafeler kat edildiği görülmektedir. 2010 yılında kWh başına 1.200 \$'ın üzerinde olan lityum-iyon batarya paketi fiyatları, 2021 yılında 132 \$/kWh'ye gerilemiştir (BloombergNEF, 2021).



Şekil 4. Lityum-iyon Bataryaların Hücre ve Paket Fiyatlarındaki Değişim (BloombergNEF, 2021).

Ni-MH ve lityum-iyon gibi yüksek kapasiteli çekiş bataryaları kullanılan araçlarda, trafik kazası ya da kundaklama neticesinde meydana gelecek bir yangında oluşabilecek zararlarda kısmen belirsizlikler bulunmaktadır. Özellikle yüksek sıcaklık ortamlarında lityum-iyon hücreler, duman yahut birden alev alabilecek bir termal kaçağa neden olabilir. Bununla birlikte lityum-iyon bataryalı bir taşıtın yangına maruz kalması durumunda ne tür bir olayın meydana gelebileceği literatürde değişik senaryolarla incelenmiştir. Bir diğer hususta çarpışma testleridir. Elektrikli taşıt çarpışma testleri (E-Vehicle crash testing); araç üreticisi için aracın fabrikadan distribütörlere kadar nakli, çarpışma öncesi ve sonrası aracın kullanımını, depolanması ve işletilmesindeki risklerin anlaşılmasına ve giderilmesine yönelik önem arz etmektedir (SAE J3040 - 201512, 2015).

3.2. Sıvı Hidrojenli Araçlar (SHA)

Hidrojen gazı kokusuz, renksiz ve tatsızdır. Bundan dolayı H_2 kaçaklarını, insanın algılaması mümkün değildir. CNG ve LPG'nin aksine kokulandırılmaz. Ayrıca mevcut kokular yakıt hücrelerinde kirliliğe ve arızalara da yol açabilmektedir (Winkel ve ark., 2016). Ayrıca hidrojen hem doğrudan İYM'lerde hem de YHA'larda kullanılabilir potansiyeli yüksek olan bir yakıttır (Uğurlu ve Öztuna, 2015). Günde depodaki miktarın %1 ile 3'ü düzeyinde sızıntı olabilmektedir. Ancak katalizörler veya oksidasyon ile kontrolü mümkün olduğu için sızıntı kontrol edilebilmektedir. Herhangi bir sebepten dolayı sıvı hidrojen (LH_2) tankı çatlırsa/yarılırsa, sıvının aşırı düşük sıcaklığından dolayı hem insanlar zarar görür hem de çevrede çok yüksek seviyede hidrojen konsantrasyonuna neden olur. Bu durum kapalı alanlarda çok ciddi risk oluşturabilir. Sıvı hidrojen tanklarında oksitlenme ya da kontrollü bir sıcaklık kesme düzenlemesi yapılmadıkça kısmen hidrojen kaybı olabilmektedir. Ayrıca hidrojenin yüksek difüzyon karakterinden dolayı küçük sızıntılar garajlarda güvenlik riskleri oluşturabilecektir. Doğal olarak hidrojen yakıtlı araçlar arttıkça garajlarda emniyet yaklaşımları da arttırılacaktır (DPS, 2017). Bu araçların park edeceği kapalı otoparklarda hidrojen dedektörleri/algılayıcıları (hydrogen detectors) ve bu dedektörlerle entegre çalışan performanslı cebri havalandırma sistemleri kullanılmalıdır.

BMW'nin sıvı hidrojenli araçlara (SHA) uygulamış olduğu çarpışma testleri, pozitif sonuçlar vermiştir. Hem konvansiyonel hem de sıvı hidrojenli aracın, uygulanan çarpışma testleri esnasında ve sonrasında sızıntı göstermediği tespit edilmiştir. BMW'nin gelecekteki amaçlarından/araştırmalarından biri de, hidrojen yakıtlı araçların kapalı alanlardaki ve katlı otoparklardaki emniyet beklentilerini karşılayacak teknik çözümleri geliştirmektir (Müller ve ark., 2007). Bu bağlamda yapılan çalışmalarda araç 17 saat park edildiğinde herhangi bir hidrojen kaybının olmadığı tespit edilmiştir. Tanktaki 5,1 barlık artışın ötesinde tahliye valfi (boil-off

valve) otomatik olarak açılmakta ve tanktaki basınç artışı elimine edilmektedir (Anonymous, 2006).

Araç yangınları bağlamında Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü (JARI-Japan Automobile Research Institute) tarafından yapılan çalışmalarda sıkıştırılmış hidrojen kullanan taşıtların, CNG ya da benzinli araçlardan daha tehlikeli olmadığı tespit edilmiştir (Anonymous, 2010/b).

SHA'lara ev sahipliği yapan ilk bina tasarımlarında, hidrojen algılama sistemi ve riskleri minimize etmek amacıyla birçok tedbir alınmıştır. Bu tedbirler arasında; hidrojen algılayıcılar, yüksek havalandırma oranı, statik-elektrik koruyuculu taban ve duvarlar (static-free floors and walls), explosion proof tertibatlar (explosion proof devices), özel taşıt topraklaması ve muhtemel hidrojen sızıntılarına yönelik diğer tedbirler bulunmaktadır.

3.3. Yakıt Hücreli Araçlar (YHA)

Yakıt hücreleri/pilleri (Fuel cell), kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Yakıt hücresi, fosil yakıtlarının yakılması yerine, yakıt ile oksijenin elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda enerji üreten bir tür bataryadır (TÜBİTAK, 2003). Yakıt hücrelerinde yakıt olarak; metanol, etanol, doğalgaz, LPG ya da hidrojen kullanılabilir. Ama tüm bu yakıtlar arasında enerji verimi en yüksek olanı hidrojendir. Ayrıca hidrojen, yan ürün olarak yalnızca su buharı çıkartmaktadır. Öteki yakıtlarsa, az da olsa zararlı ya da sera etkisine yol açan gazlar salmaktadır (Demir, 2011/a). Hidrojen, yakıt hücresinin anot kısmına; oksijen ise katot kısmına giriş yapmaktadır. Katalizörün etkisiyle hidrojen atomları proton ve elektronlarına ayrılmaktadır.



Ayrılan elektronlar bir elektrik devresinin içerisinde geçerek elektrik akımı oluşturmaktadır. Protonlar ise, elektrolit arasından katoda doğru hareket etmektedirler. Devresini tamamlayan elektronlar tekrar hidrojenin protonuna bağlanır ve oksijenle birleşerek saf su buharı ve ısı meydana getirirler (Alkaya ve ark., 2008).



SAE FCV (Fuel Cell Vehicle) Güvenlik Çalışma Grubu, SAE J2579 standardını iyileştirme çalışmaları kapsamında; sıkıştırılmış hidrojen depolama sistemlerinin (Compressed Hydrogen Storage Systems - CHSSs) doğrulaması için test metodolojileri ve basınç tahliye tertibatı/valfi (Pressure Relief Device - PRD) aktive olmadan ve emniyetli şekilde tankta depolanmış olan sıkıştırılmış hidrojenin tahliye edilmesinden önce, sıkıştırılmış hidrojen depolama sistemlerindeki tankın zarar görebileceği ve bir patlamaya sebebiyet verebilecek küçük veya lokal yangınlara odaklanılmıştır. Yapılan çalışmalarda YHA veya hidrojenli taşıtlardaki CHSS'nin lokal yangınlardan kaynaklanan hiçbir başarısızlığı olmamasına karşın, bir kısım CNG'li araçlarda patlama olmuştur. Çalışma grubu; belirli yangın koşullarında CHSS'nin performansını kanıtlayacak bir test metodu önermiştir. Önerilen test koşulları, hem JARI hem de US Otomotiv Üreticileri (US Automobile Manufacturers) tarafından yürütülmüş olan gerçek taşıt yangın testlerinden türetilmiş bilgilere dayandırılmıştır (Scheffler ve ark., 2011). PRD'nin aktivasyonu tarafından neden olunan bir hidrojen jet difüzyon alevinin (hydrogen jet diffusion flame) söndürülüp söndürülemediği ve karbon fiber takviyeli hidrojen depolama silindiri (carbon fiber reinforced plastic hydrogen storage cylinders) ile PRD'ye püskürtülen suyun alevlenmeyi nasıl etkileyeceğinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalarda; deneyler, hidrojen jet alevinin su ya da kuru kimyevi yangın söndürücülerle kolayca söndürülemediğini ve PRD'nin aktivasyonu esnasında püskürtülen suyun PRD'nin kapanması ile neticelenebileceğini fakat taşıtlar için CFRP kompozit silindirlerin dayanımının pozitif olduğu tespit edilmiştir (Tamura ve ark., 2010).

Vancouver YHA programı (Vancouver Fuel Cell Vehicle Program), YHA'ların park etmesine yönelik olarak yetkililerden 2 aşamalı onay yaklaşımı talep etmektedir. Bu taleplerden ilki gökdelenleri ve alışveriş merkezlerini temsil edecek şekilde seçilmiş iki adet yer altı katlı otoparkta park etmeye izin verilmesi. İkinci olarak ta, 3-6 ay içinde Vancouver bölgesindeki tüm otoparklara uygulamanın genişletilmesinin değerlendirilmesi. Yapılan çalışmalarda otoparkın havalandırılması için CFD modeli ile iki senaryo gerçekleştirilmiştir. Bunlar kesintili devreye giren gerçek mekanik havalandırma ile SAE J7528 standardına göre mekanik olmayan havalandırma (saatte 0,18 hava değişimi)'dir (Rothwell, 2006).

Hidrojen yakıtlı araçlar için yangın, çarpışma ve sızıntı durumlarına yönelik olarak olay ağaçları, jet alevi, patlama veya etki olmaması gibi üç olasılıktan birine yol açan durumlar ve olaylar biçiminde tanımlanmıştır. Olay ağaçları, bir jet alevi veya patlamanın ne ölçüde meydana gelebileceğini göstermez. Bir jet alevinin veya bir patlamanın ölçeğini belirleyen temel faktörler, HYA'ların bulunduğu ortam ve hidrojenin sızıntı yaptığı koşullardır:

- Katlı otoparklarda, jet alevi veya patlamanın etkileri açık otoparklara göre daha büyüktür. Bununla birlikte, havalandırmanın varlığı ve seviyesi, hidrojen sızıntısı durumunda alev alabilirlik alt sınırına (LFL - Lower Flammability Limit) ulaşılmasını önleyebilir.
- Sızıntı yapan hidrojen miktarı, hidrojen basıncı, çıkış/sızıntı açıklığının boyutu ve çıkış yönü gibi koşullar, jet alevinin boyutu ve yönünü veya hidrojen bulutunu ve buluttaki hidrojen konsantrasyonunu önemli ölçüde belirlemektedir. Güvenli çalışan bir hidrojen sistemi tasarımında bu faktörler dikkate alınmalıdır. Araştırmalar, hidrojen tankının ısı direncini artırmakla birlikte termal olarak aktive edilen basınç tertibatının (TPRD - Thermally Activated Pressure Device) çapı daraltılarak veya bir yangın durumunda kontrollü olarak küçük miktarlarda hidrojen sızıntısını imkan veren bir hidrojen tankının geliştirilmesiyle güvenlik kazanımlarının elde edilebileceği tespit edilmiştir (Spoelstra, 2021).

4. HİBRİD, TAM ELEKTRİKLİ VE YAKIT HÜCRELİ ARAÇLARA YÖNELİK KAPALI OTOPARKLARDAKİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Ülkemizde kısa bir süre önce LPG'li araçların AVM otoparklarını kullanma yasağı kaldırılmışken; HEA ve TEA'ların güvenlik gereksinimi ile ilgili kapalı alanlarda ve katlı parklarda park etme yasağı bulunmamaktadır. Ancak şarj edilebilir hibridler ve tam elektrikli araçların şarj ünitelerine yönelik belli güvenlik yaklaşımları vardır. Ülkemizde henüz satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'ların kapalı otoparkları kullanabilmelerine yönelik net bir durum/yaklaşım yoktur. Konunun sağlıklı değerlendirilmesine yönelik olarak; ekolojik ve ekonomik faktörler, emniyetli yaşam, algılanış biçimi, taşıtlar, kullanıcılar, yönetmelikler, denetimler ile birlikte otoparkların tasarım, yapım, işletme ve kontrolü bağlamında değerlendirilmeler yapılmıştır.

4.1. Ekolojik ve Ekonomik Faktörler

Kapalı otoparklardan yararlanamayan alternatif enerji kaynaklarına sahip taşıtlar, uygun park yeri bulmak için uzun arama sürelerine maruz kalmakta, yol kenarlarında ve kaldırımlarda otopark probleminin büyümesine ve tıkanıklık etkisinin artmasına sebep olabilmektedirler. Kapalı otoparklara park edememe konusunun çözüme kavuşturulması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir şehir hayatına da önemli katkılar sağlayacaktır. Bu konuya Türkiye özelinde LPG'li araçlar örnek verilebilir (Demir ve Yardım, 2013). Mevcut otopark altyapıları ile yola devam edildiğinde benzer durum HYA ve YHA'lar içinde sorun olmaya devam edecektir.

4.2. Algılanış Biçimine ve Emniyetli Yaşama Yönelik Öneriler

Ülkemizde halihazırda HEA ve TEA'lar ile ilgili menzil, şarj altyapısı ve satın alma fiyatı haricinde belirgin bir algı sorunu bulunmamaktadır. HYA ve YHA'lar henüz satışa sunulmadığından bu araçlara yönelik belirgin bir algı söz konusu değildir. Ancak LPG'li araçlarla ilgili yaşanan süreçten öğretici derslerin alınarak sürecin yönetilmesi gerekir.

4.3. Taşıtlara ve Kullanıcılara Yönelik Öneriler

HEA ve TEA'ların kullanıcılar için en büyük risk faktörü yüksek voltajdır. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır. SHA, HYA ve YHA'larda olan ve olması gereken emniyet ve güvenlik gereksinimleriyle ilgili bazı açıklamalar Tablo 4'de verilmiştir.

4.4. Otoparklara Yönelik Öneriler

Kapalı otoparkları kullanabilme belirsizliği olan araçlara yönelik olarak otoparklarda yangın algılama, yangın söndürme, gaz algılama ve cebri havalandırma sistemleri bütünlük düşünülerek tasarım-projelendirme kriterleri belirlenmeli ve ayrıca bu sistemlerin periyodik olarak performans gerekliliklerini sağladığının kontrolleri yapılmalıdır (Anonim, 2013). Havalandırma ya geleneksel hacimsel hava değişim oranıyla ya da CO ve LPG algılama ve uyarı sistemlerinin kullanılmasıyla tasarlanabilmektedir. LPG, CNG ve HYA'ların kullanımına yönelik olarak tasarlanacak/düzenlenecek kapalı otoparklarda;

- Havalandırma ve iklimlendirme ile mekanik duman tahliye sistemine yönelik olarak gerekli hava akış kesitleri ve vantilatör hacimleri en başından itibaren yapı kütlelerinde yer almalıdır. Ayrıca az park hareketi içeren kapalı otoparklarda, örneğin konut sakinleri tarafından bir kullanım söz konusu ise havalandırma ve iklimlendirme boyutlandırılmalarında mekanik havalandırma sistemlerinin debisi en az 6 m³/h olabilmektedir. Onun dışında ise 12 m³/h gereklidir (Irmscher, 2015).
- Hidrojen yakıtlı araçlar için bir öngörü olarak görevli personeli olmayan park yeri girişlerinde, kontrol amacı ile hologramlı sticker veya tanımlayıcı otomatik kontrol sistemi uygulaması düşünülebilir.
- Otopark tipi ve büyüklüğüne göre standart proje gereklilikleri, güvenlik öncelikli olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca otoparklardaki yangın tertibatlarının ve havalandırma sistemlerinin her zaman etkin çalışır durumda bulundurulması gerekir. Bu amaca yönelik olarak gerekli bakım ve performans gereksinimlerine özel önem verilmelidir.
- HYA'ların park edebileceği alanlarda gaz algılama sistemi havalandırma sistemini otomatik olarak devreye alacak şekilde düzenlenmelidir (Tablo 4). Ayrıca bu alanlarda m²'ye bakılmaksızın gaz algılama sistemi ve otomatik olarak devreye giren havalandırma sistemi bulundurulmalıdır. Algılama sistemlerinde kullanılacak dedektörler hava akımı, araçların giriş çıkış yönü dikkate alınarak yapılan risk değerlendirmesi sonucu yeterli sayıda ve uygun konumda yerleştirilmelidir.
- Hidrojen yakıtlı araçların park edebildiği kapalı park yerlerinde görülebilir boyutta "SİĞARA İÇİLMEZ" tabelası bulundurulmalıdır.
- Özellikle katlı otoparklarda LPG'li ve yakın gelecekte ülkemizde görebileceğimiz HYA'lara yönelik çıkışa yakın bir alanın özel düzenlemelerle ayarlanması gerekir.

Sıvı hidrojen tanklarında oksitlenme ya da kontrollü bir sıcaklık kesme düzenlemesi yapılmadıkça bir miktar hidrojen kaybı olabilmektedir. Ayrıca hidrojenin yüksek difüzyon karakterinden dolayı küçük sızıntılar katlı otoparklarda risklerin oluşmasına sebep olabilecektir. Doğal olarak hidrojen

yakıtlı araçlar arttıkça garajlarda emniyet yaklaşımları da arttırılacaktır (DPS, 2017). Sıvı hidrojen yakıtlı araç park edildiğine, artık ısıdan dolayı emniyet valfinden günde %2 düzeyinde hidrojen kaybı olabilmektedir (Anonymous, 2002). Bunların haricinde kapalı otoparkların varsa başka teknik yetersizlikler de giderilmelidir. Giriş-çıkış düzenlemeleri, plaka ya da otomatik tanıma sistemleri gibi uygulamalar ile gerekli yönlendirmelerin sağlanması üzerinde çalışılacak diğer konulardır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Otopark Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'te; *“Zorunlu otopark adedi 20 ve üzeri olan yeni yapılacak yapılara ilişkin yapı ruhsatı başvurularında zorunlu otopark alanlarının 1 adetden az olmamak üzere en az %5'inin, ilgili standartlara göre şarj ünitesi dâhil elektrikli araçlara uygun olarak düzenlenmesi şartı aranır.”* ile *“Yeni yapılacak olan bölge ve genel otoparklar ile AVM'lere ait otoparklarda en az %10 oranında otopark yerinin ilgili standartlara göre elektrikli araçlara uygun olarak (şarj ünitesi dâhil) düzenlenmesi şartı aranır. Otuzbin metrekareden büyük AVM'lerde kurulacak şarj ünitelerinden en az birinin, yetmişbin metrekareden büyük AVM'lerde ise en az ikisinin ilgili standartlara göre hızlı şarj kapasitesine sahip olması gerekir. İhtiyaca göre elektrikli araç otopark yeri sayısının artırılması hususunda idarelerce karar alınabilir.”* ifadelerine yer verilmiştir (Yönetmelik, 2021). PHEV ve TEA'lar için şarj istasyonu yerleştirilmiş otoparklarda, bu araçların şarjlarının yapılabilmesi için hem kullanılan batarya teknolojisine hem de şarj tipine bağlı olarak belli bir süreye gereksinim duyulmaktadır. Çünkü mevcut teknolojiye göre bataryaların şarj süreleri oldukça uzundur. Şarj işlemi esnasında çekilen elektrik gücü de diğer önemli bir konudur. Yakın bir gelecekte aynı anda park alanında belki 100 aracın şarj edilmesi gibi senaryolar kaçınılmaz olacaktır. Ayrıca hem araçların uzun şarj süresi hem de 32 Amper'lik bir elektrik prizinden ise ancak 20 kW'lık bir elektrik gücü çekilebiliyor olması aşılması gereken altyapısal konulardandır. Elektrikli araçlar için öncelikle yaygın şarj istasyon ağları kurulmalıdır. Bu gerçekleştirilene kadar sürücüler doğru rota, enerji ve zaman yönetimini birlikte yapmak zorunda kalacaklardır (Demir, 2011/b).

HEA ve TEA'ların geleceğini etkileyen en önemli konulardan biri ücretli ya da ücretsiz otoparkların yeterliliklerinin bu araçların şarj ihtiyaçlarını karşılayacak düzeye çıkartılmasıdır. Bu amaçla otoparklarda yapılacak düzenlemelerde;

- Tahsisli yer ayrılması,
- Montaj için minimum yaya trafiğinin olacağı uygun bölgenin seçilmesi,
- Engelli sürücülerin bu üniteleri kullanabilmesi için gerekli düzenlemelerin yapılması (Bu amaçla elektrikli araç bağlantı ekipmanları otopark yüzeyinden 120 cm'den daha yüksek ve 60 cm'den daha alçak olarak konuşlandırılmamalıdır) (Anonymous, 2009),
- Şarj ünitelerinin yağmur, sel ve doğal afetlerden korunma tedbirlerinin alınması,
- Ünitelerin yerleştirildiği bölgenin aydınlatılması,
- Ünitelerin korunması için banket uygulaması,
- En kısa çalışma mesafesinin sağlanması,
- Hem ergonomik ve kullanımı kolaylaştıracak hem de gerektiğinde havalandırma gereksinimlerini karşılayacak önlemlerin alınması,
- Açık otoparklarda soğuktan etkilenme ve donmaya karşı tedbirlerin uygulanması,
- Vandalizm tehdidine yönelik gerekli önlemlerin alınması,

gibi konular ve hizmetler yerine getirilmelidir (Gurbetci ve ark., 2014).

4.5. Otoparklarda Çalışanlara Yönelik Öneriler

- Otoparklarda çalışan/çalışacak olan personeller, alternatif yakıt ve tahrik sistemlerin sahip araçlara yönelik güvenlik konusunda yetkilendirilmiş eğitim kurumlarından eğitim almalı ve sertifikalandırılmalıdır.
- Otoparkta çalışanlar işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili eğitimleri almış olmalı, eğitimlere ait belgeler çalışanların dosyalarında muhafaza edilmelidir.
- Otoparkta, acil durumlarda (gaz/sıvı sızıntısı, çarpışma, boğulma, elektrik kaçağı, vb.) yapılması gerekenler yürürlükteki mevzuatlara uygun olarak hazırlanan acil durum eylem planları çerçevesinde yönetilmelidir. Bu planların kolay erişilebilir olmasının yanı sıra, planlarda yer alan acil durum iletişim telefon numaraları çalışanların görebileceği yerlere asılmalı ve çalışanlar acil durumlarda yapılacaklar hakkında eğitilmelidir.
- Olası bazı senaryolara yönelik olarak otoparklarda belli periyotlarda bazı tatbikatların gerçekleştirilmesi gerekir.
- Otoparkların hizmetin şekli, müşteri ilişkileri ve müşteri hakları ile ilgili hususlar “TS 13346:2015 İşyerleri - Genel kurallar” standardına uygun olmalıdır.

Tablo 4. Alternatif Enerji Kaynaklarına Sahip Araçlar Kapalı Otoparkları Kullanabilmelerine Yönelik Emniyet Yükümlülükleri

| Yakıt / Enerji Kaynağı | Kapalı Otoparkları Kullanabilmeleri | Araçtan Kaynaklanabilecek Risklere Yönelik Alınan Güvenlik Önlemleri | Otoparkın Havalandırılması | Açıklamalar |
|------------------------|-------------------------------------|--|--|---|
| HEA | Serbest | En büyük risk faktörü aracın voltaj düzeyinin hibridleşme oranıyla artış göstermesi. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır. | - | Türkiye’de her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Yüksek voltaj temas durumlarında, sok ve ölümlere sebep olabilir. |
| TEA | Serbest | En büyük risk faktörü aracın voltaj düzeyinin yüksek olması. Buna yönelik gerekli uyarılar aracın ilgili kısımlarında belirtilmiş ve önlemler alınmıştır. | - | Türkiye’de her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Yüksek voltaj temas durumlarında, sok ve ölümlere sebep olabilir. |
| SHA | Belirsiz | Günde depodaki miktarın %1 ile 3’ü düzeyinde sızıntı olabilmektedir. Ancak değişik yöntemlerle bu sızıntı kontrol edilebilmektedir. | Hidrojen dedektörü ile otomatik çalışan havalandırma sistemi | Türkiye’de halihazırda karayolunda her hangi bir araç bulunmamaktadır. Bundan dolayı da herhangi bir düzenleme yoktur. 2000’li yıllarda BMW’nin yaptığı testlerde araç park edildiğinde, artık ısıdan dolayı emniyet valfinden günde %2 düzeyinde hidrojen kaybı olabileceği (Anonymous, 2002) ve daha sonra yapılan geliştirme faaliyetleriyle bu oranın düşürüldüğü belirtilmektedir (Anonymous, 2006). |
| HYA | Belirsiz | <ul style="list-style-type: none"> • Yüksek havalandırma oranı • Statik-elektrik koruyuculu taban ve duvarlar • Ex-proof tertibatlar • Özel taşıt topraklaması • Basınç tahliye tertibatı | Hidrojen dedektörü ile otomatik çalışan havalandırma sistemi | Türkiye’de henüz hem araç hem de otopark düzenlemesi bulunmamaktadır. HYA ve YHA’ların performansını optimize etmek ve emniyet konseptini genişletmek için sisteme hidrojen sensörleri monte edilmiştir. |

4.6. Yönetmeliklere Yönelik Öneriler

HEA, TEA, HYA ve YHA'lara yönelik kapsamlı mevzuat hazırlıkları yapılmalıdır. Bu çalışmalar yürütülürken; Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Emniyet Genel Müdürlüğü, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), sertifikasyon hizmeti veren TÜV, TSE, Türkiye Sigorta Birliği, yerel yönetimlerin ilgili birimleri, üniversitelerden ilgili akademisyen ve uzmanlar, ilgili STK'ler, otopark işletmecileri, ilgili dönüşüm firmaları ve kit imalatçıları gibi tüm paydaşlar, söz konusu mevzuatların uygun hale getirilmesi konusunda kapsamlı bir işbirliği içine girmelidir. Oluşturulacak birliktelik ve sinerji ile yasal düzenleme süreçlerine katılım ve sonuç alma imkanları artırılmış olacaktır.

4.7. Denetimlere Yönelik Öneriler

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik ile "AVM'lerdeki kapalı otoparklara LPG'li araçların girebilmesi için Türk Standartları Enstitüsü'nden (TSE) hizmet yeterlik belgesi ve mahallin itfaiye teşkilatından uygun görüşü alınacağı belirtilerek yasak kaldırılmıştır. LPG'li araçların alınabileceği kapalı otopark alanları, birinci bodrum katlardan daha aşağıdaki katlarda konumlandırılmayacak ve diğer araçların alınacağı otoparklar ile LPG'li araçların giriş ve çıkışları birbirinden ayrı olarak düzenleneceği; bu bağlamda otoparkların havalandırma ve elektrik tesisatının yeniden düzenleneceği; otoparkları, tescil belgesinde LPG'li olduğu belirtilen ve geçerli muayenesi bulunan araçların kullanabileceği, gerekli koşulları sağlamayan araçların otoparklara alınmayacağı" belirtilmiştir (Yönetmelik, 2020). Bu süreç henüz ülkemizde satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'ların katlı otoparkları kullanabilmelerine yönelik olumlu ve belirli düzeyde hazırlayıcı bir gelişmedir.

5. SONUÇ

HEA, TEA, HYA ve YHA'ların kullanacağı otoparkların tasarım koşulları, yeterliliklerinin tespiti, uygun düzenlemelerin yapılarak, gerekli önlemlerin alınması, sistemlerin kurulması ve takip sistematığının çıkarılması; bunları destekleyecek yasal düzenlemelerin yapılması, ülkemiz şartlarında aciliyeti ve gerekliliği olan bir konudur. 2020 yılında AVM otoparklarını kullanma yasağı kaldırılan LPG'li araçlardaki süreç dikkate alındığında ülkemizde henüz satışa sunulmamış olan HYA ve YHA'lara yönelik belli bir süre katlı otoparkları kullanma yasakları uygulanabileceği öngörüsünden hareketle, bu araçların uygun park yeri bulmak için uzun arama sürelerine maruz kalmaları, yol kenarlarında ve kaldırımlarda kontrolsüz park etmeleri otopark probleminin büyümesine ve tıkanıklık etkisinin artmasına sebep olabilecektir. Bu ve benzer sorunların çözüme kavuşturulması hem ekonomik ve ekolojik hem de sürdürülebilir bir şehir hayatına önemli katkılar sağlayacaktır. Sektör bileşenlerinin de katkı ve desteğiyle alternatif yakıt ve tahrikli araçların kapalı alanları/otoparkları kullanabilmesinin olanakları aranmalıdır. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Alternatif yakıt ve tahrikli araçların kapalı otoparklara park edebilmesi hem ekonomik ve ekolojik hem de daha yaşanılabilir bir şehir hayatına katkılar sağlayacaktır.
- Havalandırma ve iklimlendirme ile mekanik duman tahliye sistemine yönelik olarak gerekli hava akış kesitleri ve vantilatör hacimleri otoparkların yapım aşamasında yapı kütlesinde yer almalıdır.
- Otopark tipi ve büyüklüğüne göre standart proje gereklilikleri, güvenlik öncelikli olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca otoparklardaki yangın tertibatlarının ve havalandırma

sistemlerinin her zaman etkin çalışır durumda bulundurulması, gerekli bakım ve performans gereksinmelerine yönelik özel önem verilmesi gerekir.

- Kapalı otoparklarda alttan emişli mekanik havalandırma sistemi kullanılmalıdır. Ayrıca CNG, LPG, HYA ve YHA'ların park edebileceği alanlarda ilgili gaz algılama sistemi havalandırma sistemini otomatik olarak devreye alacak şekilde düzenlenmelidir. Ayrıca bu alanlarda m²'ye bakılmaksızın gaz algılama sistemi ve otomatik olarak devreye giren havalandırma sistemi bulundurulmalıdır.
- Kapalı otoparklarda kullanılacak algılama sistemlerinde kullanılacak dedektörler hava akımı, araçların giriş çıkış yönü dikkate alınarak yapılan risk değerlendirmesi sonucu yeterli sayıda ve uygun konumda yerleştirilmelidir.
- CNG'li araçlar ile HYA ve YHA'lar kaza yaptığında veya yangına maruz kaldığında; mutlaka yakıt tankları incelenmelidir. Ayrıca belirlenmiş değiştirme sürelerine azami dikkat gösterilmelidir
- Halihazırda HEV ve TEA'ların kapalı otoparkları kullanmaları hususunda dünya ve Türkiye özelinde bir yasak bulunmamaktadır. Ancak konvansiyonel araçlardan yapılacak dönüşümlerde kullanılacak batarya teknolojileri otopark emniyet kısıtlarını da beraberinde getirebilir. Ancak bu durumda daha farklı bir sorunda bu araçların takibi hususunda yaşanacaktır. Ülkemizde LPG'li araç sektöründe yaşanan mevcut sorunlar bu araçlar için önemli bir yaklaşım sunmaktadır.
- Ülkemizde kapalı otoparklara giriş-çıkışta ağırlıklı olarak otopark görevlisine dayalı sistemlerin kullanılıyor olması alternatif yakıt ve tahrikli araçlar için bir güvenlik sorununa sebebiyet vermektedir.
- Görevli personeli olmayan park yeri girişlerinde, LPG, CNG, HYA ve YHA'lar için kontrol amacı ile hologramlı sticker veya tanımlayıcı otomatik kontrol sistemi uygulaması getirilmelidir.
- LPG, CNG, HYA ve YHA'ların park edebildiği kapalı park yerlerinde görülebilir boyutta "SİĞARA İÇİLMEZ" tabelası bulundurulmalıdır.
- Araç yangınları bağlamında yapılan bazı çalışmalarda sıkıştırılmış HYA araçların, CNG ya da benzinli araçlardan daha tehlikeli olmadığı tespit edilmiştir.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçlara yönelik tasarlanacak kapalı otoparklarda çalışan/çalıştırılacak olan personeller, güvenlik konusunda yetkilendirilmiş kurumlardan eğitim almalı ve sertifikalandırılmalıdır.
- Otoparkta çalışanlar işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili eğitimleri almalı, eğitimlere ait belgeler çalışanların dosyalarında muhafaza edilmelidir.
- Otoparklardaki gaz/sıvı sızıntıları, çarpışma, boğulma, elektrik kaçağı, vb. gibi acil durumlarda yapılması gerekenler yürürlükteki mevzuatlara uygun olarak hazırlanan acil durum planları çerçevesinde yönetilmelidir. Bu planların kolay erişilebilir olmasının yanı sıra, planlarda yer alan acil durum iletişim numaraları çalışanların görebileceği yerlere asılmalı ve çalışanlar acil durumlarda yapılacaklar hakkında eğitilmelidir.
- Otoparkların hizmet şekli, müşteri ilişkileri ve müşteri hakları ile ilgili hususlar TS 13346:2015 İşyerleri - Genel kurallar standardına uygun olmalıdır.

Bu çalışmaların daha kapsayıcı yönetilmesi için şu öneriler dikkate alınmalıdır:

- Yasağa konu olan/olabilecek araçların kabul edileceği kapalı otoparklara ilişkin yangın algılama, yangın söndürme, gaz algılama ve cebri havalandırma sistemleri bütünlük düşünülerek tasarım-projelendirme kriterleri belirlenmeli ve ayrıca bu sistemlerin periyodik olarak performans gerekliliklerini sağladıklarının kontrolleri yapılmalıdır.
- Yasağa konu olan/olabilecek araçların elektronik kimlik sistemiyle donatılması ve otoparklarda bu sistemlerin gerekliliklerinin yerine getirilmesi sağlanmalıdır.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçlar için katlı otoparklarda kolay havalandırılabilir yada kaçak izleme sistemleri gibi önlemler alınmış, özel tahsisli alanlar oluşturulmalıdır. Bu

alanların, mümkün mertebe, otopark çıkışına yakın mekânlarda tasarlanması acil durumlarda müdahaleyi de kolaylaştıracaktır. Park yerlerinin zemini temiz tutulmalı ve zeminde yanıcı, parlayıcı, patlayıcı malzeme bulundurulmamalıdır. Ayrıca zemin kıvılcım oluşturabilecek özellikte malzemeden yapılmamalıdır.

- Mümkün mertebe gaz yakıtlı taşıtların açık alanlara ve tabii havalandırılmalı yer üstü kat otoparklarına park etmeleri tercih edilmelidir.
- Alternatif yakıt ve tahrikli araçların yeterli havalandırma olanağı olmayan çok küçük katlı otoparklara park etmesi sakıncalıdır.
- Yüksek basınçlı tankların kullanıldığı alternatif enerji kaynaklarına sahip araçlar kaza yaptığında veya yangına maruz kaldığında mutlaka yakıt tankları dikkatle incelenmelidir.
- Elektrikli taşıt çarpışma testleri, aracın kullanımı, depolanması ve işletilmesindeki risklerin anlaşılması ve tanımlaması için önemli bir uygulamadır.
- Mevcut otopark altyapıları ile devam edildiğinde LPG yakıtı kullanan araçların yaşamış olduğu sürecin bir benzeri kuvvetle muhtemel HYA ve YHA'lar içinde söz konusu olacaktır.
- Yakıt hücreli araçların, dayanıklılık ve emniyetlilik açısından konvansiyonel araçların yaklaşık 14 yıllık teknik ömrüyle karşılaştırılabilmesi gerekir.
- Konuyla ilgili mevzuatlar arası uyumun sağlanması amacıyla düzenlemeler yapılması gerekir.
- Gelecekte artan refah seviyesinin gelişmekte olan ülkelerdeki araç sahipliğini artıracığı ve verimlilik hedefleriyle düşen batarya maliyetlerinin tam elektrikli araca geçişi teşvik edeceği öngörülmelidir. TOGG bu sürecin belli düzeyde katalizörü olabilir.
- LPG, CNG, HYA ve YHA'lara ev sahipliği yapacak kapalı otoparkların varsa başka teknik yetersizlikleri giderilmelidir. Plaka ya da otomatik tanıma sistemleri gibi giriş-çıkış düzenlemeleri yapılmalıdır.

LPG, CNG, HYA ve YHA'ların kullanımı ile ilgili temel kaygılar, kapalı alanlarda ve otoparklarda emniyetli park etme noktasında yoğunlaşmaktadır. Alternatif yakıt ve tahrikli araç kullanıcıları, araçlarını park ederken ülkemizin mevcut şartları dikkate alındığında özellikle açık alanları ve tabii havalandırılmalı katlı otoparkları tercih etmelidir. Ancak bu çalışmada belirtilmiş olan tespitlerin ve çalışmaların gerekleri yerine getirildiği takdirde bu ve benzeri araçların kapalı otoparkları kullanması ve araç feribotlarına alınmasında bir sakınca olmayacaktır.

SİMGELER

| | |
|------|--|
| APS | : Açıklanan Taahhüt Senaryosu (Announced Pledges Scenario) |
| CFRP | : Karbon Fiberle Güçlendirilmiş Plastik (Carbon Fiber Reinforced Plastic - CFRP) |
| CHSS | : Sıkıştırılmış Hidrojen Depolama Sistemleri (Compressed Hydrogen Storage Systems) |
| CNG | : Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğal Gaz) |
| EPDK | : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu |
| EREV | : Menzili Arttırılmış Elektrikli Araçlar (Extended Range Electric Vehicle) |
| FCV | : Yakıt Hücreli Taşıtlar (Fuel Cell Vehicle) |
| HEA | : Hibrid Elektrikli Araç |
| HYA | : Hidrojenli Yakıtlı Araç |
| HYHA | : Hidrojen Yakıt Hücreli Araç (Hydrogen Fuel Cell Vehicle - HFCV) |
| IEA | : Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency) |
| İYM | : İçten Yanmalı Motor |
| JARI | : Japonya Otomobil Araştırma Enstitüsü (Japan Automobile Research Institute) |
| LFL | : Alev Alabilirlik Alt Sınırı (Lower Flammability Limit) |
| LNG | : Sıvılaştırılmış Doğal Gaz |

| | |
|-------|---|
| LPG | : Sıvılaştırılmış/Likit Petrol Gazı (Liquified Petroleum Gas) |
| Ni-MH | : Nikel Metal Hidrit |
| NZE | : Net Sıfır Emisyon (Net Zero Emissions) |
| PHEV | : Şarj Edilebilir Hibrid Araçlar (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) |
| PRD | : Basınç Tahliye Tertibatı (Pressure Relief Device) |
| SAE | : Amerikan Otomotiv Mühendisleri Derneği (American Society of Automotive Engineers) |
| SHA | : Sıkıştırılmış Hidrojenli Araç (Compressed Hydrogen Vehicle) |
| STK | : Sivil Toplum Kuruluşu/Örgütü |
| TEA | : Tam Elektrikli Araç |
| TEHAD | : Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu |
| TMMOB | : Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği |
| TPRD | : Termal Olarak Aktive Edilen Basınç Tertibatı (TPRD - Thermally Activated Pressure Device) |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| TÜİK | : Türkiye İstatistik Kurumu |
| TÜV | : Teknik Muayene Birliği (Technischer Überprüfungsverein) |
| YHA | : Yakıt Hücreli Araç |

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

ACEA, (2021). The automobile industry. Pocket Guide 2021/2022. *Acea*.

Alkaya, L., Behçet, R. & İlkılıç, C. (2008). Yakıt pilleri ve uygulama alanları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. 6(3), 67-71.

Anonim, (2009). Hafif yolcu ve ticari araçlardan çıkan emisyonlar (Euro 5 ve Euro 6) bakımından ve araç tamir ve bakım bilgilerine erişim konusunda motorlu araçların tip onayı ile ilgili uygulama usul ve esaslarına ilişkin tebliğ, (Tebliğ No: SGM-2009/22), Resmî Gazete, Sayı: 27445.

Anonim, (2013, Mayıs, 27-28), Oto gaz kullanan araçlar ve kapalı otoparklar için yeni standartlar çalıştayı. <http://www1.mmo.org.tr> adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

Anonymous, (2002). Bosch Automotive Handbook, Bosch GmbH, 5th Edition. *Wiley-Blackwell*. New York.

Anonymous, (2006). BMW Hydrogen 7, BMW Media Information. *Wired*. Kaliforniya

Anonymous, (2009). Electric vehicle charging infrastructure deployment guidelines. http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/electric_research.html adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

Anonymous, (2017). Current world population. <http://www.worldometers.info/world-population> adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

- Beiker, S. A. (2010). Between old economy and the next big thing the automobile on its way to the future. [www.stanford.edu/class/me302 /.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf](http://www.stanford.edu/class/me302/.../Future%20Automobile%202010-09-21.Pdf) adresinden 30 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- BloombergNEF, (2021). Battery pack prices fall to an average of \$132/kWh, but rising commodity prices start to bite. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/> adresinden 23 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Christiaens, S., Ogrzewalla, J. & Pischinger, S. (2012). Functional safety for hybrid and electric vehicles. *SAE Technical Paper*. 1-12.
- Demir, A. (2011/a, Mayıs, 25). *Güncel ve gelecekteki otomobil ve otopark trendleri*. Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu. İstanbul.
- Demir, A. (2011b, Aralık, 1-2). *Elektrikli araçların otoparklarla birlikteliği*. 2. Toplu Ulaşım Haftası – Transist 2011 - IV. Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi. İstanbul.
- Demir, A. (2019). *İstanbul'da otopark işletmeciliğine ilişkin temel sorunlar ve çözüm önerileri*. International Academic Studies on Social and Education Sciences (Mehmet Dalkılıç Edt.) *Gece Kitaplığı*. Ankara.170-187.
- Demir, A. & Yardım, M.S. (2013, Kasım, 14-15). *Kapalı otoparklarda LPG yakıtlı taşıt parkı düzenlemesi*. Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi, TÜYAK. İstanbul.
- DPS, (2017). Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles. Minnesota Department of Public Safety, <https://dps.mn.gov> adresinden 24 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Dunyaenerji, (2021). 2021 Dünya enerji görünümü raporu özeti. <https://www.dunyaenerji.org.tr/dek-atolye-ankara-kayitlari/> adresinden 22 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Gurbetci, K., Demir, A. & Karaahmet, A., (2014). Otopark uygulamalarında teknoloji, çevre ve emniyet faktörleri. *İlke Yayıncılık*. İstanbul.
- Hao, H., Geng, Y. & Sarkis, J., (2016). Carbon footprint of global passenger cars: Scenarios through 2050. *Energy*. 101, 121-131.
- Hedgescompany. (2021). How many cars are there in the world in 2022? hedgescompany.com/blog/2021/06/how-many-cars-are-there-in-the-world/ adresinden 24 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- IEA. (2016/a). World energy outlook 2016. *International Energy Agency*. France.
- IEA. (2016/b). Energy and air pollution. World energy outlook special report. *International Energy Agency*. France.
- IEA. (2021). World energy outlook 2021.18. 112-144. www.iea.org/weo adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

- IICEC. (2021). Sabancı Üniversitesi, Türkiye elektrikli araçlar görünümü lansman slaytları. https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/IICEC__Türkiye__Elektrikli__Araçlar_Görünümü_28_Aralık_2021__1.pdf adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Irmscher, I. (2015). Otopark tasarımı, planlama ilkeleri, projeler ve yapılar. *YEM Yayın*. İstanbul.
- Khayyat, Y. & Unnasch, S. (2005). Hydrogen fuel cell vehicle safety in buildings. *SAE Technical Paper*, 1, 1889-2005. <https://doi.org/10.4271/2005-01-1889>.
- Litman, T. (2006). Parking management best practices. Victoria Transport Policy Institute. Canada.
- Matsumura, H., Itoh, S., Matsushima, K. & Okada, T. (2012). Temperature characteristics of a hybrid electric vehicle fire. *SAE Int. J. Alt. Power*. 1(1), 195-207. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0982>.
- Prnewswire, (2022). Hydrogen fuel cell passenger vehicles have all-time high sales in 2021, Says Information Trends. <https://www.prnewswire.com/news-releases/hydrogen-fuel-cell-passenger-vehicles-have-all-time-high-sales-in-2021-says-information-trends-301482623.html> adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Romm, J. (2006). The car and fuel of the future. *Energy Policy*. 34, 2609–2614.
- Rothwell, B.R. (2006). The Vancouver fuel cell vehicle program. *World Hydrogen Energy Conference*. France.
- SAE J3040-201512, (2015), Electric vehicle (e-vehicle) crash test lab safety guidelines. 2015-12-17.
- Scheffler, G., McClory, M., Veenstra, M., Kinoshita, N. et al., (2011). Establishing localized fire test methods and progressing safety standards for FCVs and hydrogen vehicles. *SAE Technical Paper*. 2011-01-0251, <https://doi.org/10.4271/2011-01-0251>.
- Spoelstra, M.B. (2021). Hydrogen cars in parking garages-Part I, Institute of Physical Safety. <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20210209-IFV-Hydrogen-cars-in-parking-garages.pdf> adresinden 15 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H. & Huang, X. (2020). A review of battery fires in electric vehicles. *Fire Technology*. 1-50.
- Swain, M.R. (2001, Nisan, 17-19). Fuel leak simulation. *Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review*. Maryland.
- Tamura, Y., Takabayashi, M., Tomioka, J., Suzuki, J. et al., (2010). An experimental study on the fire response of vehicles with compressed hydrogen cylinders. *SAE Int. J. Passeng. Cars – Mech. Syst.* 3(1), 301-307, <https://doi.org/10.4271/2010-01-0134>.
- TEHAD, (2022). 2021 yılı elektrikli ve hibrid satış rakamları belli oldu. <https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/> adresinden 10 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.

- TÜBİTAK, (2003). Elektrikli araçlar. *TÜBİTAK – Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü*. Kocaeli.
- TÜİK, (2022). Motorlu kara taşıtları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2022-45704> adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Ugurlu, A. & Öztuna, S. (2015). A comparative analysis study of alternative energy sources for automobiles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(34), 11178-11188.
- Üçok, M. (2019). Hydrogen fuel cell vehicles. *Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate*. İstanbul
- Venturi, M., Fischer, R. & Henkel, F. (2013). Hydrogen sensors for automotive fuel cell applications, *SAE Technical Paper 2013-01-0497*, <https://doi.org/10.4271/2013-01-0497>.
- Voelcker, J. (2014). 1.2 billion vehicles on world's roads now, 2 billion by 2035: Report, http://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report adresinden 15 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Winkel, R., Hamelinck, C., Bardout, M., Bucquet, C., Ping, S. & Cuijpers, M. (2016). Alternative fuels and infrastructure in seven non-EU markets - Final report; Contract: MOVE/C1/SER/2014-268. *European Commission*, Brussels.
- Worldometers. (2022). Dünya nüfusu. <https://www.worldometers.info/tr/> adresinden 23 Mart 2022 tarihinde alınmıştır.
- Yardım, M.S. (2009, Mayıs, 2-8). Bölgesel otopark yönetimi, *1. Kentiçi Ulaşımında Otopark Politikaları ve Uygulamaları Konferansı*. İstanbul.
- Yiğit, S. & Suri, L. (2020). Kent içi ulaşımda aktarma merkezlerinin rolü ve Yenibosna aktarma merkezi projesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 19(37), 11-21.
- Yönetmelik, (2020), Binaların yangından korunması hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmi Gazete Sayı: 31294.
- Yönetmelik, (2021). Otopark yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 31434.



EVALUATING THE EFFECTS OF THE AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM AND SYMPATHETIC ACTIVITY ON EMOTIONAL STATES

OTONOM SİNİR SİSTEMİ VE SEMPATİK AKTİVİTENİN DUYGU DURUMU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatma PATLAR AKBULUT¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1125431>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
f.patlar@iku.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
02.06.2022

Accepted / Kabul Tarihi
23.06.2022

Abstract

Emotion recognition has attracted more interest by being applied in many application areas from different domains such as medical diagnosis, e-commerce, and robotics. This research quantifies the stimulated short-term effect of emotions on the autonomic nervous system and sympathetic activity. The primary purpose of this study is to investigate the responses of 21 adults by attaching a wearable system to measure physiological data such as an electrocardiogram and electrodermal activity in a controlled environment. Cardiovascular effects were evaluated with heart rate variability indices that included HR, HRV triangular-index, rMSSD (ms), pNN50 (%); frequency analysis of the very low frequency (VLF: 0-0,04 Hz), low frequency (LF: 0,04-0,15 Hz), and high frequency (HF: 0,15-0,4 Hz) components; nonlinear analysis. The sympathetic activity was evaluated with time-varying and time-invariant spectral analysis results of the EDA. The participants who experience calmness had a 4,8% lower heart rate (75,06±16,76 and 78,72±16,52) observed compared to happiness. Negative valence with high-arousal emotions like anger was invariably responded to with a peak in skin conductance level. Besides, negative valence with low-arousal emotions like sadness was allied with a drop in conductance level. Anger, in addition to being the most well-known emotion, elicited coherent time-varying spectral responses.

Keywords: Biomedical signal processing, emotion recognition, HRV analysis, spectral analysis.

Öz

Duygu tanıma, tıbbi teşhis, e-ticaret, robotik gibi farklı alanlarda birçok uygulama şekli ile gerçekleştirilerek yüksek ilgi görmüştür. Bu araştırma, duyguların otonom sinir sistemi ve sempatik aktivite üzerindeki uyarılmış kısa vadeli etkisini ölçmektedir. Çalışmanın birincil amacı, kontrollü bir ortamda elektrokardiyogram ve elektrodermal aktivite vb. fizyolojik verileri ölçmek için giyilebilir bir sistem kullanan 21 yetişkin katılımcının tepkilerini araştırmaktır. Kardiyovasküler etkiler, HR, HRV üçgen-indeksi, rMSSD (ms), pNN50 (%): çok düşük frekans (VLF: 0-0,04 Hz), düşük frekans (LF: 0,04-0,15 Hz) ve yüksek frekans (HF: 0,15-0,4 Hz) bileşenlerinin frekans analizi; SD1, SD2 ve SD oranının doğrusal olmayan analizi, sempatik aktivite, EDA'nın zamanla değişen ve zamanla değişmeyen spektral analiz sonuçları ile değerlendirildi. Sakinlik hisseden katılımcıların mutluluğa kıyasla %4,8 daha düşük kalp atış hızına (75,06±16,76 ve 78,72±16,52) sahip olduğu gözlemlendi. Öfke gibi yüksek uyarılma seviyesi sahip olumsuz duygularda her zaman cilt iletkenlik değerleri zirve ölçümleri tespit ettik. Ayrıca, üzüntü gibi düşük uyarılma düzeyindeki negatif duygulara sahip olanlar iletkenlik seviyesindeki bir azalma ile bağlantılıydı. Öfke, en iyi tespit edilebilen duygu olmasının yanı sıra, zamanla değişen tutarlı spektral tepkiler ortaya çıkardığı görüldü.

Anahtar Kelimeler: Biyomedikal sinyal işleme, duygu tanıma, HRV analizi, spektral analiz.

¹Istanbul Kültür University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye.
f.patlar@iku.edu.tr, Orcid.org/ 0000-0002-9689-7486.

1. INTRODUCTION

Emotion recognition is used in many domains today (Dzedzickis et al., 2020). Understanding human emotions is a key factor in a more effective human-computer interaction. Today, the use of this knowledge in the collaborative work of robotic systems in manufacturing increases productivity. Similarly, the emotional states of the customers in the marketing domain are used to reach the sales capacity of the products or services. In educational sciences, it can be ensured that learning processes are improved and perception is strengthened. And in the entertainment industry, emotional state is a strong criterion used to determine the target audience. Therefore, research projects are carried out both in academia and industry to solve this problem.

Since determining the boundaries between emotion, mood, and affect keywords is a challenging process, innovative approaches are required. Emotion recognition clues which is a key component of affective computing can be extracted from facial expressions, bio-markers, voice, and text by using the opportunities provided by developing sensors and communication technologies (Zhang et al., 2020). Machine learning is considered as one of the most preferred methods for processing and using the collected fusion data. However, the data must be pre-processed before feeding the developed models. Since each biosignal has different characteristics, these multidisciplinary studies also have a signal processing pillar. Heart Rate Variability (HRV), Electroencephalography (EEG), Electrodermal Activity (EDA), temperature, and respiration patterns are mostly used.

Studies have shown that heart rate variability is a serious metric in a variety of other physiological, psychological and psychosocial conditions, other than direct heart disease, from depression to anxiety, stress, and panic (Klein et al. , 1995; Kawachi et al., 1995; Balogh et al., 1993). Moreover, it is seen that HRV changes according to psychosocial factors. Many studies suggest a link between negative emotions and decreased HRV. Also, lower HRV was observed in anxious and depressed individuals (Gorman & Sloan, 2000). The motive is that both the sympathetic and parasympathetic branches of the autonomic nervous system are involved in the regulation of heart rate (HR). Sympathetic nervous system (SNS) activity decreases HRV while increasing HR, and parasympathetic nervous system (PNS) activity decreases HRV while decreasing HR (Berntson et al., 1997). The contributions of this paper are two-fold:

- Distinguishing emotions with time invariant and time variant approaches
- Modeling emotion using multiple bio-signals

The next sections are structured as follows. Section II reviews emotion recognition studies through HRV analysis in the literature. Section III describes and details the detection of autonomic nervous system activity with HRV analysis and how sensor data is processed. Section IV depicts the results and finally, Section V summarizes the main findings and concludes the paper.

2. RELATED WORK

As the evidence shows that positive emotions elicit different HR, blood pressure, and peripheral vascular resistance responses compared to negative emotions, there is a link between emotional states and autonomic nervous system responses. Hereafter, emotion recognition studies using HRV and sympathetic activity in the literature were surveyed. In the study (Takeshita et al., 2021), in which smart watches were used for HRV measurement, 10 participants were asked to watch a 10-minute horror movie. During the experiments, 11 different features were extracted from the frequency and time domain, and a machine learning model was developed to separate the participants from Fear and Fear- lessness Situations. It has been reported that the Support Vector Machine-based model works with 5-Fold-cross-validation achieved more than 90% accuracy. The

scope of this study is limited only to horror movies, but in future work, comedies, emotional movies, and romantic movies are targeted. Cosoli et. al (2021) investigated emotion recognition by HRV analysis on PPG signals. This article aimed to enhance the performance of emotion recognition by considering PPG signals during vocal stimulation. In doing so, it employed a new data artifact correction method and a Support Vector Machine (SVM) classifier. Researchers have observed that the utilization of electrodermal activity (EDA) in addition to the use of PPG signal as the main source increases the accuracy of the classifier.

In another study (Singson et al., 2021) using deep learning powered by ResNet architecture, the developed CNN model distinguished happy, sad, neutral, fear, and anger emotions from collected data fusion. The CNN classifier was fed with facial expressions and ECG signals of participants. A wearable sensor system based on Arduino Uno microcontroller was also developed to measure the ECG signals and transfer them instantly to the machine learning model. In experiments based on 13 different observations using the proposed model, 68,42% accuracy was achieved. In the study Adha & Igasaki (2020) conducted to determine the 3 negative emotions, drowsiness, stress, and tiredness, in the domain of driving, 120 minutes of simulator driving was performed. RR peaks were extracted from the ECG signal using the Pan–Tompkins algorithm and generated as the primary feature. In addition, blood pressure and salivary amylase were recorded. In experiments conducted over 20 driving sessions, the magnitude of the regression coefficient was calculated for all three emotions and it was observed that the values varied between 4,20 and 5,74.

Emotion recognition is also used in the diagnosis of psycho-neural diseases. Yamuza et al. (2019) proposed a model that supports HRV analysis with respiration, unlike other studies. Five emotional states, relax, joy, fear, sadness, and anger, were distinguished within the scope of the study, and the HRV and respiration spectra were mostly seen between relax and joy, negative valance and joy, and fear and sadness. As the primary output of the research is; the use of the correlation between HRV and respiration in emotion recognition applications is promising. In the study Barrett & Popovi (2015) investigating the effect of positive emotions on workplace performance, it was aimed to reveal the changes on the autonomic nervous system with HRV. This survey paper focused on the reflection of psychological level changes on emotions. It was concluded that positive mood states positively reflect on workplace performance and strengthen the ability to cope with challenging situations. Yu and Chen's research (2015) targeted optimization of feature selection by genetic algorithm. The Input was obtained from 4 different perspectives: time-domain, frequency-domain, Poincare plot, and differential features of HRV analysis. Before the emotion recognition using the SVM classifier, the genetic algorithm was employed for the feature selection process, acting as dimension reduction and dramatically affecting the accuracy.

Another important biosignal is EDA which has lately assembled attention as an alternative for evaluating sympathetic activity because sympathetic nerves only stimulate sweat glands. In addition, to recognizing emotion it is also helpful to detect activities like Posada-Quintero et al. (2018) study. They proposed a spectral analysis approach to assess skin sympathetic nervous activity. They analyzed low and high-intensity exercise and found that sympathetic activity shifts to higher frequencies during intense physical activity. In another study to recognize emotion (Yin et al., 2022), they are proposing a framework via combining EDA features and the evoked music features. Then they compare the effectiveness with DEAP and AMIGOS datasets to validate that the fusion features are a reliable solution for emotion recognition.

In the study of Domínguez-Jiménez et al. (2020) to recognize emotion from physiological signals, the participants' heart rate, and galvanic skin response were measured, and components of frequency and time domains were extracted. Models developed for high accuracy recognition of three emotions -amusement, sadness, and neutral- through the sympathetic activity were evaluated successfully. Sepúlveda et al. (2021) performed emotion recognition over nonintrusive

physiological signals using ECG recordings from the AMIGOS dataset. The positive effect on the recognition success in the study depends on the extraction of ECG features. Models that recognize emotions of arousal and valence planes with high accuracy are designed for wearable systems especially to be used in HCI problems. Emotion recognition is of critical importance for many domains by being handled from different perspectives. The prominent common point of the studies is user addiction. A user-independent emotion recognition model was proposed in the study of Albraikan et al. (2018) It is designed to identify the fusion sensor data in an ensemble structure. Models that can recognize valence and arousal emotions with an accuracy of over 93% have been developed.

When the selected studies are inspected, we observed that the studies vary between target emotion analysis and generic recognition. We have seen that some studies are specifically geared towards recognizing emotions rather than working generically. These studies aiming at recognizing specific emotions were found to be more accurate. One of the main characteristics in which the studies differed was user dependency. Since user dependent systems would be more difficult to service, their use was not found practical. In addition, while HRV was used as the main input, the supporting data such as facial expressions etc. increased the recognition accuracy.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Data Collection

Subjects were 21 adults (12 men, 9 women; the median age of 27 yr.). There were no significant differences in the total sample between the participants, health status, age, or sex. During the emotion elicitation experiment, two biosignals: ECG and EDA were gathered via a wearable sensor. The system recorded data with a sample rate of 250 Hz. Three lead electrodes were located in the Einthoven triangle position for the ECG data acquisition. EDA sensors were located on the second and third fingers of the left hand.

3.2. Processing of Sensor Data

Ambulatory ECG signals are often contaminated by physiological and environmental artifacts such as skin-electrode interface, movement, respiration, muscle contraction, baseline drift, and power line interference which contain frequency components. Baseline wander owing to respiration comprises low-frequency components (0-0,5 Hz); muscle contraction contains high frequencies (50-60 Hz) and power line interference too, and motion artifacts largely yield high amplitude sharp waves. Motion artifact is commonly further obscure of noise to be eliminated from ECG since its spectrum entirely overlaps, and its morphology usually look-alike that of the P, QRS, and T waves.

We reduced the noise in three steps. The first step in reducing low-frequency baseline wander is established on discrete wavelet transformation (DWT), and the second step reduces high-frequency components with Empirical Bayes posterior wavelet via individual adaptive threshold. As the last step, since corrupted ECG heartbeats affect the results of analysis completely outliers that were considered abnormally deviating from adjacent segments were removed by calculating the deviations of the data (Figure 1).

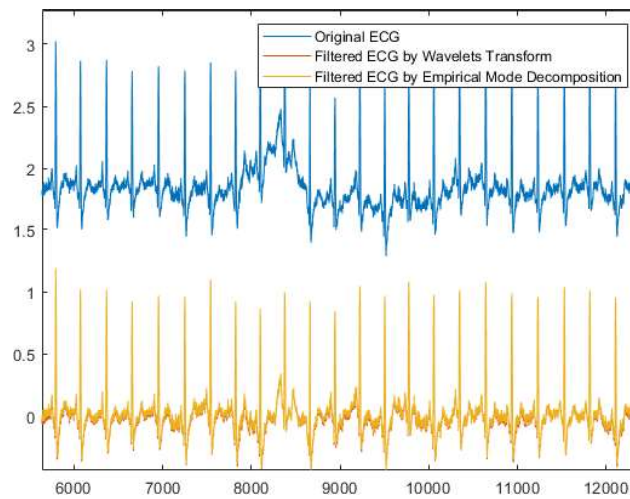


Figure 1. Sample of ECG Signal with Baseline Wander and Filtered ECG

Following the noise reduction, a mixed model has been employed that contains Pan & Tompkins (Pan & Tompkins, 1985) algorithm and rule-based peak detection to detect the RR intervals by linear filtering, nonlinear transformation, and rule-based techniques. Approximate entropy was calculated to determine the complexity and noise level before analyzing the signal. Accordingly, the value of the signal, whose noise is reduced, has been calculated on average 55 which over 100 points indicate that the noise level and regularity of the signal are normal (Pincus, 1995).

3.3. Detection of Autonomic Nervous System Activity

A heart Rate Variability (HRV) analysis was achieved to distinguish features of the ECG signal. During HRV analysis, standard measurements were evaluated with time and frequency domain and components of nonlinear methods.

In the time domain analysis, the intervals between sequential normal complexes at any point in time are determined. For this purpose, heart rate is determined by detecting RR intervals in order to capture instant changes of heart rate in the ECG records. Time-domain measurements included the calculations of the instant statistical indexes derived from the differences between the RR intervals over 1-minute period during watching. During the analysis, first we calculated

$$rMSSD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}$$

from the root mean square of consecutive differences to display the short-term variability. Also, $NN50 = P(|RR_{i+1} - RR_i| > 50ms)$ was calculated, consecutive RR intervals differences which is higher than 50 ms are taken corresponding relative amount $pNN50 = \frac{NN50}{(n-1)} \times 100$, by dividing the total number of RR intervals. Along with that, $HRVTI = \frac{n}{D(X)_{max}}$ triangular index is calculated dividing by total number of interval (n) by height of the density distribution ($D(X)_{max}$).

Also to evaluate the correlation between consecutive RR a nonlinear method the Poincaré plot (Figure 1) was used. Each RR_i is shown with a graph drawn against the next $RR_{(i+1)}$ range.

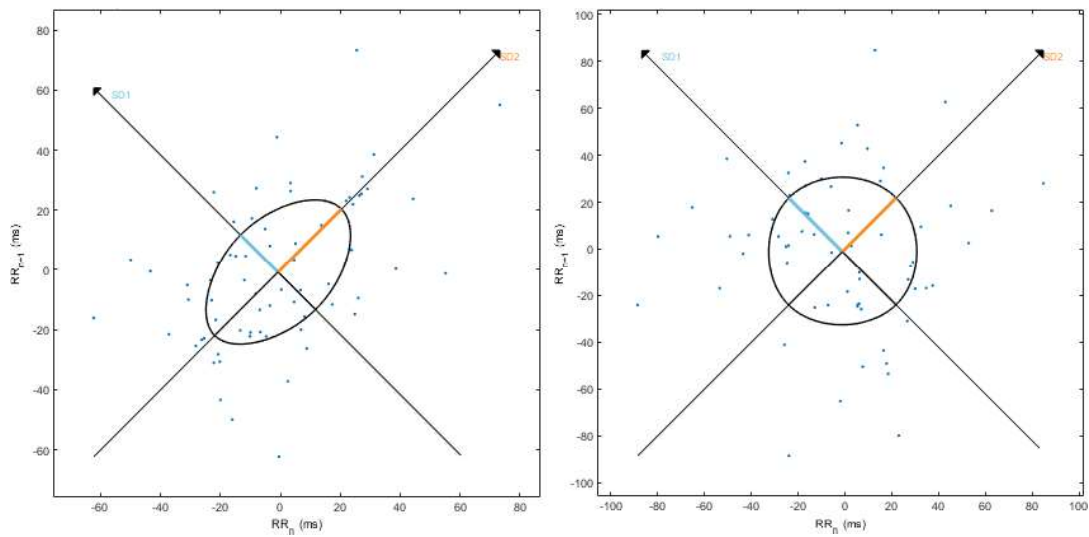


Figure 2. Positive and Negative Valance of Poincare

SD1 variable representing long-term records that reflects HRV and wide variability. SD2 presents the variability of pulse and parasympathetic activity. $SD1/SD2 = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \sigma (RR_{i+1} - RR_i)}}{\sqrt{\frac{1}{2} \sigma (RR_{i+1} + RR_i)}}$ show the ratio between the short and long variations of the RR intervals.

During the frequency domain analysis, the power spectrum parameters were calculated by the Fourier Transform and an autoregressive (AR) model. The power accommodated in the low- and high-frequency bands ($LF = \int_{0,04}^{0,15} f(\lambda) d\lambda$ and $HF = \int_{0,15}^{0,40} f(\lambda) d\lambda$), and the LF:HF ratio are calculated to reflect the balance of sympathetic and parasympathetic modulation are calculated over the 1-min monitoring period for each emotion. In the heart rate power spectrum analysis, we followed the following procedures; (i) finding the RR interval, (ii) defining an instantaneous HR with low threshold filtering, and (iii) estimating the spectral features of the signal (Figure 3). We computed a power spectrum for frequencies above 0,01 Hz from a 1-min segment of consecutive peaks that represent heart rates.

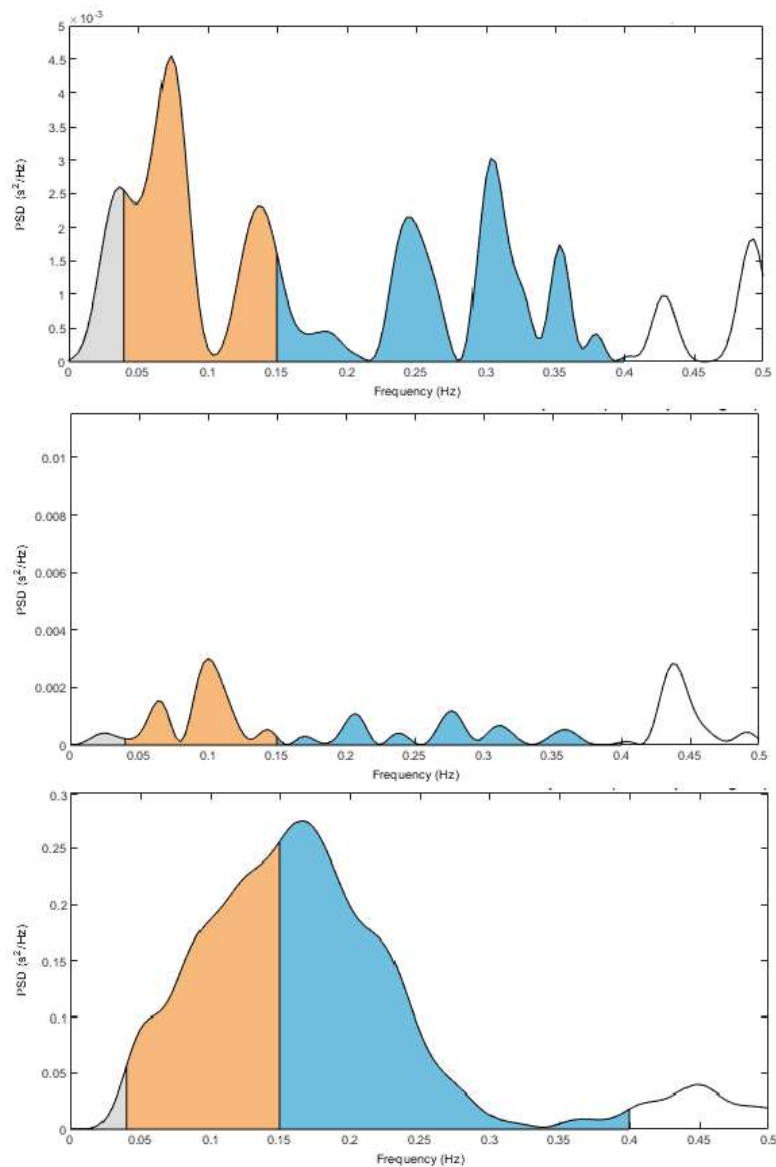


Figure 3. FFT Spectrum of A High Arousal Emotion (Fear - HR: bpm) and Low Arousal Emotion (Calmness - HR: 65 bpm and Sadness - HR: bpm) of RR Series

Heart rates and their accompanying heart rate power spectrum values are shown in Figure 3. Readers note that the three groups of peaks, the largest group at the respiratory high frequency (HF) near 0,2 Hz and the other group at lower frequencies (LF) placed between 0,15 and 0,05 Hz, and the smallest group of peaks at very low frequencies (VLF) in 0 and 0,04.

3.4. Estimation of Sympathetic Activity

As the primary step, the first derivative of the clean EDA signal was calculated. In the process of determining the onset of the skin response, we aimed to find the moment when the rapid falls below the minimum speed. We only evaluated the rise of each event, because the basic idea was to count the spontaneous rise and fall in a longer recording and to obtain their amplitude. The half-life period of the skin reaction is provided by the descending wave as additional info. We used a low-pass filtered EDA to detect skin reactions and smoothed the raw EDA without affecting the initial slope of the larger increments. When examining EDA data, one of the most important points should be to decide whether overlapping increments should be counted independently and brought

together as an event. If the sequential event occurred in less than 700ms, we combined it with the previous event.

Following that, the time-variant and time-invariant spectral analyses have been employed on measured signals. In order to examine the changes in the frequency distribution of our signal, we used the maximum frequency (Quintero et al., 2018) to define the upper-frequency limit of the EDA signal. The criterion for defining maximum frequency is to find a frequency at which the integration of the spectral power from it to the Nyquist frequency is less than 5% of the total power. The maximum frequency is computed and averaged over the five-minute periods of EDA signal to detect the periodicities in the data by learning the amount of power contained in a spectral band, the time-invariant power spectra of the signal were measured by applying Welch's periodogram with 33% overlap. For each segment, a 64 points length Hanning window was applied, for each windowed Fast Fourier Transform (FFT) was computed, and the power spectra of the signal segments were averaged. This technique provides precise amplitude approximations and one of the highest time-frequency resolutions (Boashash, 2015) by utilizing variable frequency complex demodulation which is shown in Figure 5. We calculated the spectral estimation for each time point of the time-frequency representation to compute maximum frequencies. During the process, we computed the spectrogram over the 0,045 - 4 Hz band and discard content below the -60 dB power level to depict only the main frequency components. We used 0% overlap to spot the tone durations and their locations in time.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

This section presents the main findings of the study, which includes a widespread description of the biosignals gathered during the emotion elicitation experiments, their main characteristics, and parameters calculated using FFT, AR, and time-varying and time-invariant spectrum analysis performed to evaluate the significance of the results.

Table 1 shows time domain results of HRV with standard error for anger, calmness, disgust, fear, happiness and sadness. We measured Mean RR (ms), STD RR (ms), Min HR (bpm), Mean HR (bpm), Max HR (bpm), STD HR (bpm), RMSSD (ms), NN50 (beats), pNN50 (%), RRtri and TINN (ms) to characterize emotions. Mean RR max value (801,43) is observed for anger and the min value (786,15) is observed for happiness. The highest values for STD HR, RMSSD, RRtri and TINN were observed in anger as 23,42, 86,53, 8,67 and 279,85, respectively. The emotion of happiness had the lowest values in STD HR (8,14), NN50 (23,23), and pNN50 (27,16), while it had the highest values for Min HR (72,13) and Mean HR (78,72). According to Table 1, sadness, another prominent emotion, showed the lowest values in STD RR (54,43), Max HR (87,80), RMSSD (75,38), RRtri (7,57) and TINN (205,38). We also found that the highest measurements of the emotion of fear were made for 3 values, 91.567 for Max HR, 26,19 for NN50 and 30,94 for pNN50. No markers were detected for calmness and disgust.

From the RR intervals originating from the 1-minute segment, power spectral analyses of each successive data point were performed in a sequential mode with the use of FFT and AR methods. A fixed re-sampling frequency per 1-minute period was used. Tables 2 and 3 show the FFT and AR spectrum results for VLF (Hz), LF (Hz), HF (Hz), VLF (ms²), LF (ms²), HF (ms²), VLF (log), LF (log), HF (log), VLF (%), LF (%), HF (%), LF (n.u.), HF (n.u.), TP (ms²) and LF/HF. We found that the FFT spectrum results are more indicative in the identification of emotions, compared with AR spectrum results.

Table 1. Time Domain Results of HRV with Standard Error

| | Mean RR (ms) | STD RR (ms) | Min HR (bpm) | Mean HR (bpm) | Max HR (bpm) | STD HR (bpm) | RMSSD (ms) | NN50 (beats) | pNN50 (%) | RRtri | TINN (ms) |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| anger | 801,43±132,91 | 66,98±54,02 | 68,95±12,37 | 77,53±16,74 | 89,69±25,97 | 23,42±103,20 | 86,53±86,67 | 25,38±28,52 | 30,03±26,38 | 8,67±4,27 | 279,85±210,73 |
| calmness | 794,38±129,12 | 61,90±55,48 | 69,95±13,38 | 75,06±16,76 | 89,32±26,84 | 8,58±12,60 | 81,19±90,25 | 23,58±28,41 | 27,53±25,28 | 8,31±3,65 | 246,12±174,75 |
| disgust | 799,61±125,29 | 59,38±54,13 | 70,00±11,51 | 77,31±15,11 | 88,33±29,35 | 8,63±16,40 | 82,58±87,91 | 24,48±25,15 | 30,24±26,13 | 8,402±4,71 | 247,83±207,18 |
| fear | 799,95±135,81 | 63,54±52,36 | 70,48±14,30 | 77,93±18,24 | 91,567±32,15 | 11,13±25,97 | 84,88±85,84 | 26,19±29,63 | 30,94±26,29 | 8,38±3,80 | 263,63±201,84 |
| happiness | 786,15±122,21 | 57,05±50,47 | 72,13±13,82 | 78,72±16,52 | 90,09±25,70 | 8,14±11,91 | 76,02±84,56 | 23,23±27,88 | 27,16±25,65 | 8,20±3,86 | 232,12±175,35 |
| sadness | 799,60±132,02 | 54,43±51,08 | 71,18±11,79 | 77,54±15,94 | 87,80±23,76 | 8,36±15,47 | 75,38±82,43 | 24,62±27,77 | 29,440±26,38 | 7,57±3,62 | 205,38±149,37 |

Table 2. FFT Spectrum Results of HRV with Standard Error

| | VLF (Hz) | LF (Hz) | HF (Hz) | VLF (ms ²) | LF (ms ²) | HF (ms ²) | VLF (log) | LF (log) | HF (log) | VLF (%) | LF (%) | HF (%) | LF (n.u.) | HF (n.u.) | TP (ms ²) | LF/HF |
|------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|-----------|
| anger | 0,04±0,00 | 0,09±0,00 | 0,27±0,01 | 252,57±59,18 | 2172,62±611,22 | 3362,07±1075,19 | 4,27±0,24 | 6,37±0,25 | 6,47±0,26 | 7,68±0,98 | 43,40±2,63 | 48,77±3,00 | 47,71±3,01 | 52,13±3,00 | 5794,04±1677,72 | 1,66±0,34 |
| calmness | 0,04±0,00 | 0,09±0,00 | 0,27±0,01 | 141,79±28,41 | 1476,39±334,30 | 2588,25±720,23 | 3,88±0,24 | 6,19±0,25 | 6,45±0,25 | 5,49±0,67 | 43,23±2,91 | 51,14±3,18 | 46,23±3,17 | 53,63±3,16 | 4209,74±969,98 | 1,47±0,28 |
| disgust | 0,04±0,00 | 0,09±0,01 | 0,29±0,01 | 112,91±34,84 | 1164,94±293,01 | 2583,91±672,71 | 3,45±0,24 | 5,78±0,26 | 6,22±0,26 | 5,50±0,87 | 38,95±3,10 | 55,29±3,43 | 41,91±3,40 | 57,81±3,38 | 3872,19±954,31 | 1,33±0,23 |
| fear | 0,04±0,00 | 0,08±0,00 | 0,29±0,01 | 154,78±31,99 | 1738,48±541,26 | 2607,27±768,15 | 4,03±0,22 | 6,16±0,22 | 6,40±0,25 | 6,28±0,74 | 42,00±3,06 | 51,46±3,07 | 44,86±3,21 | 54,86±3,19 | 4506,87±1270,99 | 1,38±0,21 |
| happiness | 0,03±0,00 | 0,09±0,00 | 0,30±0,01 | 71,99±31,99 | 1160,34±541,26 | 1925,54±768,15 | 3,32±0,22 | 5,81±0,22 | 5,98±0,25 | 5,30±0,74 | 44,85±3,06 | 49,63±3,07 | 47,83±3,21 | 51,94±3,19 | 3163,34±1270,99 | 1,87±0,21 |
| sadness | 0,03±0,00 | 0,10±0,00 | 0,31±0,01 | 66,79±19,26 | 747,10±158,45 | 1899,44±507,99 | 3,20±0,20 | 5,58±0,23 | 6,08±0,25 | 4,50±0,57 | 37,94±2,96 | 57,27±3,03 | 39,86±3,12 | 59,83±3,09 | 2722,39±648,68 | 1,27±0,31 |

Table 3. AR Spectrum Results of HRV with Standard Error

| | VLF (Hz) | LF (Hz) | HF (Hz) | VLF (ms²) | LF (ms²) | HF (ms²) | VLF (log) | LF (log) | HF (log) | VLF (%) | LF (%) | HF (%) | LF (n.u.) | HF (n.u.) | TP (ms²) | LF/HF |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|--------------|
| anger | 0,03±0,00 | 0,10±0,00 | 0,26±0,01 | 284,60±58,61 | 1673,08±372,40 | 3647,78±1132,27 | 4,67±0,22 | 6,34±0,24 | 6,68±0,26 | 7,35±0,57 | 39,59±2,93 | 52,91±3,23 | 43,31±3,31 | 56,53±3,29 | 5614,36±1504,24 | 1,47±0,31 |
| calmness | 0,04±0,00 | 0,10±0,00 | 0,27±0,01 | 178,94±34,60 | 1199,76±264,68 | 2641,60±755,92 | 4,32±0,22 | 6,09±0,25 | 6,36±0,26 | 7,11±0,51 | 41,35±2,74 | 51,38±3,00 | 44,96±3,05 | 54,86±3,03 | 4027,22±997,15 | 1,35±0,25 |
| disgust | 0,04±0,00 | 0,11±0,00 | 0,30±0,01 | 173,24±38,10 | 1094,74±268,54 | 2669,75±701,30 | 4,09±0,22 | 5,92±0,23 | 6,41±0,25 | 6,51±0,68 | 37,37±2,82 | 55,91±3,23 | 40,74±3,20 | 59,04±3,18 | 3945,89±952,61 | 1,10±0,17 |
| fear | 0,03±0,00 | 0,10±0,00 | 0,28±0,01 | 207,88±39,04 | 1394,71±327,74 | 2298,68±571,87 | 4,45±0,20 | 6,17±0,22 | 6,46±0,24 | 7,25±0,62 | 40,79±2,99 | 51,76±3,17 | 44,35±3,27 | 55,45±3,26 | 3906,99±885,26 | 1,39±0,22 |
| happiness | 0,04±0,00 | 0,11±0,00 | 0,29±0,01 | 136,30±39,04 | 1028,91±327,74 | 2263,36±571,87 | 4,07±0,20 | 5,93±0,22 | 6,17±0,24 | 6,83±0,62 | 42,27±2,99 | 50,68±3,17 | 45,87±3,27 | 53,89±3,26 | 3434,15±885,26 | 1,88±0,22 |
| sadness | 0,04±0,00 | 0,11±0,00 | 0,30±0,01 | 106,96±23,47 | 769,62±167,58 | 1788,17±466,71 | 3,84±0,19 | 5,72±0,22 | 6,15±0,23 | 6,12±0,51 | 38,54±2,57 | 55,07±2,74 | 41,33±2,79 | 58,38±2,77 | 2672,65±625,12 | 1,02±0,14 |

Quantitative analysis of the shape of the consecutive RR interval of ECS was executed using the nonlinear method of the Poincaré plot during the emotion recognition experiment. The markings of the plot were converged around a line with slope = 1 of unitary slope passing through the origin. As the geometry domain of the HRV analysis, Table 4 shows the SD1 (ms), SD2 (ms), and SD2/SD1 ratios of six emotions. SD1 is considered similar to the time-domain analysis parameter RMSSD of short-term HRV. We also used SD2 to reveal the relationship of Low Frequency ms2. Ans finally SD2 and SD1 ratio is computed. We observed a correlation between LF ms2 and SD2 as anger and fear increase in SD2, their values decrease in LF ms2. Similarly, HF is highly associated with anger and fear-based SD2. According to the SD1/SD2 ratio, the lowest value was observed in sadness, while the values in LF ms2 and HF ms2 were lower compared to other emotions. Since the relationship between the frequency domain parameters SD2 and Low Frequency (LF) is used to express sympathetic activity, we found evidence of an almost twofold increase in the relationship between SD2 and High Frequency (HF), so SD2 can be used as an indicator of sympathetic activity.

Table 4. Geometric Domain Results of hrv with Standard Error

| | SD1 (ms) | SD2 (ms) | SD2/SD1 ratio |
|------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| anger | 61,57±8,55 | 68,93±6,93 | 1,41±0,09 |
| calmness | 57,77±8,90 | 62,73±6,65 | 1,38±0,08 |
| disgust | 59,39±8,82 | 58,29±6,67 | 1,24±0,08 |
| fear | 60,40±8,47 | 63,45±6,48 | 1,36±0,08 |
| happiness | 54,10±8,47 | 56,51±6,48 | 1,40±0,08 |
| sadness | 53,63±8,13 | 53,17±6,19 | 1,22±0,07 |

Time invariant dynamics of the EDA signal, shown in Table 5 for a group of emotions, were found to be quite similar. During the experiments, we observed the frequency of NS.SCRs increased in direct proportion to the intensity of arousal. Even though NS.SCRs have commonly been expressed by counting in the time domain and delivering an index of the number of NS.SCRs per unit time, these fluctuations have been indicated to be an even more discreet index of sympathetic arousal. Although the SC was not significantly different in high to low arousal, time-varying features of low dominance emotions such as fear, anger, and happiness were significantly different compared to high dominance emotions. Employing the time-varying technique, we found more evidence between emotion groups.

Table 5. Time Varying and Invariant Spectral Analysis Results of EDA Signal for Each Emotion

| | Time varying (Hz) | Time invariant (Hz) | SC (V) | NS-SCRs (count/sec) |
|------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| anger | 3,32±0,68 | 1,15±0,02 | 0,27±0,02 | 49,17±1,50 |
| calmness | 2,17±0,51 | 1,07±0,01 | 0,27±0,02 | 41,23±0,86 |
| disgust | 2,46±0,47 | 1,13±0,06 | 0,26±0,02 | 44,98±1,41 |
| fear | 2,51±0,41 | 1,11±0,06 | 0,27±0,02 | 43,63±1,77 |
| happiness | 2,97±0,54 | 1,09±0,03 | 0,25±0,02 | 45,60±1,41 |
| sadness | 2,44±0,64 | 1,07±0,01 | 0,27±0,02 | 41,21±0,89 |

5. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

In this study, we investigated the biosignals to label the autonomic function and sympathetic activity on six emotional states anger, calmness, disgust, fear, happiness, and sadness. We used multiple analyses to characterize the ECG and EDA signal and evaluated it with components of standard measures, time and frequency domain, nonlinear methods, time-varying, and time-invariant spectrum methods. The findings of the study conducted with bio-signals of 21 participants showed that; calmness and disgust are emotions that are difficult to detect compared to others. We found that the most noticeable emotion is to be found as anger and it is associated with a large number of time-domain makers. We confirmed that FFT and AR methods are not as distinctive as time-domain results. Due to the increase in the practice domains of emotion detection, the need for accurate recognition methods increases. In this study, which evaluated the autonomic nervous system and sympathetic activities as an alternative to artificial intelligence and machine learning methods, it was found that four of six main emotions could be determined with bio-signals accurately. As the continuation of this study author plans to employ new techniques such as trigonometric regressive spectral for evaluating the autonomic nervous system in the detection of emotional states. In this study, the emotion recognition service is user-oriented and making it independent from the user increases the usage areas. In addition, by tuning the recognition models as energy efficient, its effectiveness on wearable systems will increase.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics have complied in this study.

REFERENCES

- Adha, M.S. & Igasaki, T. (2020, July, 20-24). *Concurrent model for three negative emotions using heart rate variability in a driving simulator environment*. 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society. 718–721.
- Albraikan, A., Tobón, D.P. & El Saddik, A. (2018). Toward user-independent emotion recognition using physiological signals. *IEEE Sensors Journal*. 19(19), 8402-8412.
- Balogh, S., Fitzpatrick, D.F., Hendricks, S.E. & Paige, S.R. (1993). Increases in heart rate variability with successful treatment in patients with major depressive disorder. *Psychopharmacology Bulletin*. 29(2), 201-206.
- Barrett, H. & Popovi, N. (2015). A meta-synthesis on the effects of combining heart rate variability biofeedback and positive emotion on workplace performance. *International Journal of Social Science Studies*. 3(5), 61-68.
- Berntson, G.G., Thomas Bigger, J., Eckberg, D.L., Grossman, P., Kaufmann, P.G., et al. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*. 34 (6), 623–648.
- Boashash, B. (2015). Time-frequency signal analysis and processing: A comprehensive reference. *Academic Press*. Cambridge.

- Cosoli, G., Poli, A., Scalise, L. & Spinsante, S. (2021, May, 17-20). *Heart rate variability analysis with wearable devices: Influence of artifact correction method on classification accuracy for emotion recognition*. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference. Scotland. 1–6.
- Domínguez-Jiménez, J.A., Campo-Landines, K.C., Martínez-Santos, J.C., Delahoz, E. J. & Contreras-Ortiz, S.H. (2020). A machine learning model for emotion recognition from physiological signals. *Biomedical Signal Processing and Control*, 55, 1-11.
- Dzedzickis, A., Kaklauskas, A. & Bucinskas, V. (2020). Human emotion recognition: Review of sensors and methods. *Sensors*, 20(3), 1-40.
- Gorman, J.M. & Sloan, R.P. (2000). Heart rate variability in depressive and anxiety disorders. *American Heart Journal*. 140 (4), S77–S83.
- Kawachi, I., Sparrow, D., Vokonas, P.S. & Weiss, S.T. (1995). Decreased heart rate variability in men with phobic anxiety (data from the normative aging study). *The American Journal of Cardiology*. 75 (14), 882–885.
- Klein, E., Cnaani, E., Harel, T., Braun, S. & Ben-Haim, S.A. (1995). Altered heart rate variability in panic disorder patients. *Biological Psychiatry*. 37(1), 18–24.
- Pan, J. & Tompkins, W.J. (1985). A real-time qrs detection algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 3, 230–236.
- Pincus, S. (1995). Approximate entropy (apen) as a complexity measure. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 5 (1), 110–117.
- Posada-Quintero, H. F., Reljin, N., Mills, C., Mills, I., Florian, J. P., VanHeest, J.L. & Chon, K.H. (2018). Time-varying analysis of electrodermal activity during exercise. *PloS One*, 13 (6), 1-12.
- Sepúlveda, A., Castillo, F., Palma, C. & Rodriguez-Fernandez, M. (2021). Emotion recognition from ECG signals using wavelet scattering and machine learning. *Applied Sciences*, 11(11), 1-14.
- Singson, L.N.B., Sanchez, M.T.U.R. & Villaverde, J.F. (2021, March, 20-21). *Emotion recognition using short-term analysis of heart rate variability and resnet architecture*. 13th International Conference on Computer and Automation Engineering. Australia. 15–18.
- Takeshita, R., Shoji, A., Hossain, T., Yokokubo, A. & Lopez, G. (2021, November, 17-19). *Emotion recognition from heart rate variability data of smartwatch while watching a video*. 13th. International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network. Tokyo. 1–6.
- Yamuza, M.T.V., Bolea, J., Orini, M., Laguna, P., Orrite, C., Vallverdu, M. & Bailon, R. (2019). Human emotion characterization by heart rate variability analysis guided by respiration. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 23 (6), 2446–2454.

- Yin, G., Sun, S., Yu, D., Li, D. & Zhang, K. (2022). A multimodal framework for large-scale emotion recognition by fusing music and electrodermal activity signals. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. 18(3), 1–23.
- Yu, S.N. & Chen, S.F. (2015, August, 25-29). *Emotion state identification based on heart rate variability and genetic algorithm*. 37th Annual International Conference of The IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 538–541.
- Zhang, J., Yin, Z., Chen, P. & Nichele, S. (2020). Emotion recognition using multi-modal data and machine learning techniques: A tutorial and review. *Information Fusion*. 59, 103–126.