



**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**



JITSA

**Journal of Intelligent Transportation
Systems and Applications**

Cilt / Volume: 6

Sayı / Issue: 1

Yıl / Year: 2023



AUSUD Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi

Journal of Intelligent Transportation System and Applications

ISSN 2636-820X | e-ISSN 2636-820X | Cilt: 6, Sayı: 1 - 2023

Akıllı Ulaşım Sistemleri disiplinler arası bir konu ve uygulamaları sektörler arası olduğundan derginin ismine "Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları" dergisi olarak karar verilmiştir. Dergimiz Mühendislik, Teknik Bilimler, Temel Bilimler ve Sosyal Bilimlerin lojistik, ulaşım, haberleşme ve bilişim alanlarını ilgilendiren yapısıyla bilim dünyasına önemli katkı sağlayacaktır.

Dergide, Türkçe ve İngilizce dillerinde makaleler yayımlanmaktadır. Derginin içerdiği konular sayfanın sağ tarafında Konu Başlıkları-Journal Topics sekmesinde verilmiştir. Değerlendirilmek üzere dergimize gönderilen metinlerin, daha önce yayımlanmamış, yayımlanmak üzere kabul edilmemiş ve yayımlanmak için değerlendirilme sürecinde olmaması gerekir. Değerlendirme sürecinde olan ve yayımlanan eserlerin sorumluluğu tümüyle yazar(lar) a aittir. Sayılarımız elektronik olarak yayımlanır. Yayımlanan eserlerin telif hakları Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi'ne aittir. Yayımlanması istenilen çalışmalar dergi kuralları ve yayın ilkelerinde belirtilen koşullara uygun şekilde hazırlanıp gönderilmelidir. Dergiye sunulan makaleler öncelikle şekil ve içerik yönünden ön incelemeye tabi tutulmaktadır. Şekil ve içerik olarak uygun bulunan makaleler hakem tayin edilmek üzere yayın kuruluna sunulmaktadır.

Değerlendirme sürecine geçildikten sonra hakemlik süreci ortalama 3 ile 5 hafta arası sürmektedir. Yayın Kurulu tarafından incelenen makalelere uygun bulunduğu takdirde en az iki hakem atanmaktadır. Hakemlerden gelen raporlar doğrultusunda, makalenin yayımlanmasına, rapor çerçevesinde yazar(lar)dan düzeltme, ek bilgi ve kısaltma istenmesine veya yayımlanmamasına karar verilmektedir. Hakemlerden bir olumlu ve bir olumsuz rapor verilmesi halinde ilgili çalışma Dergi Editörlüğü tarafından uygun görülmesi halinde üçüncü bir hakeme de gönderilmektedir.

Sahibi
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Dergi Yöneticisi Editör
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Editörler
Prof. Dr. Hasan ERDAL
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
Prof. Dr. Nevzat ONAT
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ
Doç. Dr. Selhattin KOŞUNALP
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE
Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGIN

Alan Editörleri
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
Prof. Dr. Serap İNCAZ
Doç. Dr. Abdullâh ELEN
Doç. Dr. Abdullâh YESİL
Doç. Dr. Adem DALCALI
Doç. Dr. Harun ÖZBAY
Doç. Dr. İlgün GÖKAŞAR
Doç. Dr. İlyas ÖZER
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ
Doç. Dr. Özgür ATIK
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FİDAN
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE
Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGIN
Öğr. Gör. Ömer İNAN

Yayın ve Danışma Kurulu
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Alpaslan SEREL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Feyyullah TEMÜRİTAS (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. A.Fevzi BABA (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Erdoğan KÖSE (İstanbul Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Ergin Saat VAROL (İstanbul Ticaret Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Ferit KAÇAR (İstanbul Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Oğuzhan Behçet ALANKUŞ (Okan Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Serap İNCAZ (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Şeref KILIC (Anadolu Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU (ODTÜ) (Türkiye)
Prof. Dr. Mustafa ELİKAL (İstanbul Ticaret Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Serdal TERZİ (Süleyman Demirel Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Vükel TAPDEMİR (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Hüseyin TÜRKES YAMAN (ODTÜ) (Türkiye)
Prof. Dr. Nevzat ONAT (Manisa Celal Bayar Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Turan ARSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Adem DALCALI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Harun ÖZBAY (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. İlyas ÖZER (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. M. Nuri SEYMAN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Selçuk BAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Abdullâh YESİL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Emre ÖZ (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Müjdat SOYTÜRK (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Gülçin BİŞMEK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. İlgün GÖKAŞAR (Boğaziçi Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Meseret NALCAKAN (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ) (Türkiye)
Doç. Dr. Necla TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Assoc.Prof. Dr. Viktor HACKER (Graz University of Technology) (Avusturya)
Doç. Dr. Metin Mithat AYDIN (Samsun 19 Mayıs Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Selhattin KOŞUNALP (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Selçuk ALP (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÇOBAN (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR (Antalya Bilim Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLİĞİLLİ (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Cankaya Çankaya Marmara Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Gülben KARAR (Karadeniz Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AKDEN (Hırsan Kalyoncu Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Melis ALMULA KARADAYI (İstanbul Medipol Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARUÇU (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Murat AY (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Murat Emre KORKMAZ (Samsun Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İPEK (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Özgür ATIK (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Sinem KOCABEY (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Şerif DİLEK (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Umut AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Ümit ATAÇ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Yasın SARIKAVAK (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÇAKICI (İzmir Demokrasi Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Öğr. Üyesi Cemil ÖCAL (Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Lee Young Kyun (Director of ITS Korea) (Kore)
Dr. Evangelos Mitsakis (Hellenic Institute of Transport) (Yunanistan)
Öğr. Gör. İhsan AKIŞ (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)
Öğr. Gör. Tufan Volkan KILIC (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi) (Türkiye)
Öğr. Gör. Yusuf AVŞAR (Trakya Üniversitesi) (Türkiye)
Öğr. Gör. Ömer İNAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)
AUS Türkiye Demerji Bşk. Esma DİLEK (Türkiye)
Uzman Hasan TUFAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)
Barış YILDIRIM (Kültür ve Turizm Bakanlığı Daire Başkanı) (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

Teknik Editör
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dergi Sekreteryası
Arş. Gör. Şerife Gülüm DEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Mizanpaj
Arş. Gör. Fatih ERGEZER (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)

Ön Kontrol
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Öğr. Gör. Ömer İNAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi (AUSUD) Editörlüğü, 10200, Bandırma BALIKESİR

Web: <http://auggp.org.tr>

Tel: +90 266 717 01 17

Fax: +90 266 717 00 30

E-posta: ies@bandirma.edu.tr

Turkiz

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

EBSCO

DergiPark
AKADEMİK
ev sahipliğinde

idealonline

BASE

CiteFactor
Academic Scientific Journals

RESEARCHBIB
ACADEMIC RESOURCE INDEX

OJOP
Journal Platform and
Indexing Association
<https://www.ojop.org> | Mail: info@ojop.org

AUSUD
index

İÇİNDEKİLER / CONTENT

- Karayolu taşımacılığında otonom sürüş geçiş sürecinde Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı mevzuat değişiklikleri** 1-21
Road transport legislation changes required for autonomous driving in Turkey
Hasan Semiz, Ebru Arıkan Öztürk
Araştırma makalesi
- Importance of A-pillars of vehicles during intersection approach**..... 22-30
Kavşak yaklaşımında araçların A-sütunlarının önemi
Ekinhan Eriskin
Araştırma makalesi
- Investigation of traffic accidents in Şişli district with geographic information systems** 31-50
Şişli ilçesindeki trafik kazalarının coğrafi bilgi sistemleri ile incelenmesi
Mert Ersen, Ali Hakan Büyüklü, Semra Erpolat Taşabat
Araştırma makalesi
- Factors affecting passengers' satisfaction with rail transit systems**..... 51-61
Yolcuların raylı ulaşım sistemlerinden memnuniyetini etkileyen faktörler
Seydahmet Ercan, Nezir Aydın, Tuba Nur Aslan
Araştırma makalesi
- Elektrik tahrikli bir tren hareketinin benzetim ortamında modellenmesi ve modelin gerçek bir hat üzerinde doğrulanması** 62-74
Modeling of an electrically driven train motion in a simulation environment and validation of the model on a real line
Ahmet Yıldız, Kemal Keskin
Araştırma makalesi

Kent Ulaşımında Mikromobilite Çözümlerine Lokasyon Analitiği Yaklaşımı	75-86
Location Analytics Perspective on Micro-Mobility Solutions in Urban Transport	
Gözde Karahan, Ceren Kurtuluş, Elif Garagon	
Araştırma makalesi	
Otomotiv ömür testlerinin Arrhenius yöntemiyle hızlandırılması, Elektrikli güç aktarma sistemleri üzerine deneysel bir çalışma	87-101
Accelerating automotive life tests with Arrhenius method, An experimental study on electric powertrain systems	
Habib Kaymaz	
Araştırma Makalesi	
Evaluation of the Geometry of Placement of Traffic Lights at Roundabouts on the Basis of Zoning Plans.....	102-122
Dönel Kavşaklara Trafik Işıklarının Yerleştirilme Geometrisinin İmar Planları Bazında Değerlendirilmesi	
Selim Taşkaya	
Araştırma Makalesi	
Dispeç kaynaklı aksaklıkların diğer operasyon birimlerine etkisi	123-138
Effects of Dispatch-related Disruptions on Other Operation Processes	
Ahmet Selim Süzer	
Araştırma makalesi	
Yeni Nesil Mobil İletişim Sistemlerinin Gemi Kara Arasındaki Deniz Haberleşmesinde Kullanım Olanığı	139-154
The Possibility of Using New Generation Mobile Communication Systems in Marine Communication Between Ship and Land	
Tayfun Acarer	
Araştırma makalesi	
Togg'un pazarlama çevresinin değerlendirilmesi: PESTLE analizi	155-165
Assessing marketing environment for Togg: PESTLE analysis	
Burak Yaprak	
Araştırma makalesi	

Son adım teslimat yöntemi olan otonom teslimat araçlarının tüketiciler tarafından kabulü: Teknolojiye hazırlığın düzenleyici rolü..... 166-183

Consumer Acceptance of Autonomous Delivery Vehicles as a Last Mile Delivery Method: The Regulatory Role of Technology Readiness

Mehmet Zahid Ecevit

Araştırma makalesi

Integrating a Connected Micromobility Infrastructure to the Existing Public Transport..... 184-193

Bağlantılı Mikromobilite Altyapısını Mevcut Toplu Taşıma Sistemine Entegrasyonu

İhsan Sadati

Araştırma makalesi

Akıllı ulaşım sistemlerinde siber saldırılar ve önlemler 194-208

Cyber-attacks and measures in smart transportation systems

İsa Avcı

Araştırma makalesi

Araştırma Makalesi

Karayolu taşımacılığında otonom sürüş geçiş sürecinde Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı mevzuat değişiklikleri

Hasan Semiz¹, Ebru Arıkan Öztürk^{2*}

¹ Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD., Ankara, Türkiye

*Correspondence: eozturk@gazi.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1141649

Özet: Otonom araç, çevresini algılayabilen herhangi bir insan müdahalesi olmadan çalışabilen ve gerekli işlevleri gerçekleştirebilen bir araçtır. Otomotiv Mühendisleri Topluluğu (SAE-The Society of Automotive Engineers) tarafından Seviye 0'dan (sıfır otomasyon) Seviye 5'e (tamamen özerk) kadar değişen 6 sürüş otomasyon seviyesinin tanımlanmasını takiben yazılı anlamda ilk standardizasyon faaliyetleri de başlamıştır. 21. yüzyılın ilk çeyreğinde insanlar tarafından benimsenmeye başlayan otonom araçların hızlı gelişimi, gerek ulusal gerekse uluslararası alanda mevzuat yapımcıları zorlamaya başlamıştır. Otonom araçların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte düzenleyici ve denetleyici mevzuat, bilişim-iletişim mevzuatı, tip onay mevzuatı gibi birçok alanda otonom sürüşü kısıtlayacak ya da engelleyecek hükümlerle karşılaşılması söz konusudur. Ayrıca otonom aracın karıştığı bir kazada; araç üreticisi, yazılım üreticisi, altyapı hizmet sunucuları, araç sahibi ve sürücünün sorumluluğu ne olacaktır? Geleneksel sürücü kavramının yıkılması ile otonom araçların üretimi, pazarlanması, garanti ve satış sonrası hizmetler, sigorta işlemleri ve cezai sorumluluk gibi birçok alanda köklü değişikliklere ihtiyaç duyulacaktır. Bu değişimler ışığında yeni bir bakış açısı ve anlayışa olan ihtiyaç her geçen gün daha fazla dile getirilmektedir. Bu çalışmada, otonom araçlara geçiş sürecinde Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı karayolu taşımacılık mevzuatı değişiklikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, mevzuat konusunda ilerleme kateden ülkelerin ulusal mevzuatları incelenmiş ve Türkiye için problem oluşturabilecek belirsizlikler tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım, karayolu taşımacılığı, otonom araç, mevzuat değişikliği

Road transport legislation changes required for autonomous driving in Turkey

Abstract: The autonomous vehicle can sense its environment, operate without any human intervention, and perform the necessary functions. Following the definition of 6 driving automation levels ranging from Level 0 (zero automation) to Level 5 (fully autonomous) by the Society of Automotive Engineers (SAE), the first standardization activities in written terms have also started. The rapid development of autonomous vehicles, which started to be adopted by people in the first quarter of the 21st century, has begun to force legislation makers both nationally and internationally. With the widespread use of autonomous vehicles, there are provisions that will restrict or prevent autonomous driving in many areas such as regulatory and supervisory legislation, information-communication legislation, type approval legislation. In addition, in an accident involving an autonomous vehicle; What will be the responsibility of the vehicle manufacturer, software manufacturer, infrastructure service providers, vehicle owner and driver? With the destruction of the traditional driver concept, radical changes will be needed in many areas such as the production, marketing of autonomous vehicles, warranty and after-sales services, insurance operations and criminal liability. The need for a new perspective and understanding in the light of these changes is expressed more and more every day. In this study, it is tried to determine the road transport legislation changes that Turkey will need for autonomous driving. In the study, the national legislations of the countries that have progressed in legislation have been examined and the uncertainties that may pose a problem for Turkey have been tried to be determined.

Keywords: Smart mobility, road transport, autonomous vehicle, changes in legislation

* Corresponding author.

E-mail address: eozturk@gazi.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6455-8992; 0000-0002-4971-2442

Received 07.07.2022; accepted 29.11.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Karayolu ulaşımı; esnek bir taşıma türü olması, kapıdan kapıya taşımacılık olanağı sağlaması, diğer ulaşım türlerine göre sağladığı ekonomik avantajların yanı sıra, trafik kazalarındaki ölüm ve yaralanma ve maddi kayıplar, CO₂ emisyonunda büyük pay sahibi olması, sebep olduğu çevre kirliliği, trafik problemleri nedeniyle yaşam kalitesinde hissedilen azalmalar gibi önemli dezavantajlara sahiptir. Karayolu ulaşımında bu olumsuz etkileri bertaraf etmek amacıyla ulaşım sistemlerini “akıllı” bir yapıya dönüştüren Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kavramı ortaya çıkmıştır. AUS; yolculuk sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin verimli kullanılması, hareketliliğin artırılması, enerjinin verimli kullanılması, çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen; kullanıcı, araç, altyapı ve merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol mekanizmalarını içeren bilgi iletişim temelli sistemlerdir (Url-1).

AUS'un bir bileşeni olan otonom araçlar, son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi tarafından çalışmaların yoğunlaştırıldığı bir alan olmuştur. Endüstrinin çalışmalarının yanı sıra bu alanda yapılan pek çok akademik çalışma da mevcuttur. Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE-The Society of Automotive Engineers) 2014 yılında, sürücü müdahalesine bağlı olarak altı seviyeli bir otonom sürüş sınıflandırma sistemi yayınlamıştır (SAE, 2018). Bu seviyeler şöyledir:

Seviye 0: Araç üzerinde herhangi bir otonom kontrol bulunmamaktadır, ancak araç sürücüyü bazı sinyaller vasıtası ile uyarabilir.

Seviye 1: Sürücü her an kontrolü ele almaya hazır olmalıdır. Araç; hız sabitleyici, otomatik park yardımcısı ve aracı şeritte tutma destek sistemi gibi özellikler içerebilir.

Seviye 2: Sürücü, nesnelere ve olayları algılamak zorundadır. Otonom sistem ise herhangi bir sorun yaşandığında aracın kontrolünü ele almaktadır. Otonom sistem hızlanma, frenleme ve direksiyonu hareketlerini sağılar ve sistem sürücü tarafından ele alındığında devre dışı bırakılabilir.

Seviye 3: Belirli güzergâhlar ve sınırlı ortamlarda (otoyollar gibi) sürücü, dikkatini sürüş işlerinden güvenli bir şekilde başka yöne çevirebilir ve aracın hâkimiyetini otonom sisteme bırakabilir.

Seviye 4: Otonom sistem, şiddetli olumsuz hava koşulları hariç neredeyse tüm ortamlarda aracı kontrol edebilir. Sürücü, otonom sistemi etkinleştirildiğinde sürücünün dikkatine artık gerek yoktur.

Seviye 5: Hedefi belirlemek ve sistemi başlatmak dışında hiçbir insan müdahalesi gerekmemektedir.

Google, otonom araçlarla ilgili yapılan çalışmalarda ön plana çıkan bir firmadır (Maurer vd., 2016) Google tarafından üretilen yüz adet test aracı ile yaklaşık 1.000.000 kilometre test sürüşü yapılmış, bu test sürüşünün 1650 kilometresi yüksek boyuna eğimli ve otobüslerin de kullandığı yollarda gerçekleştirilmiştir. İngiltere’de de 2013 sonuna kadar halka açık yollarda otonom araçların test edilmesi hedeflenmiş, bunun için devlet bütçesinden önemli bir pay ayrılmıştır. Japonya ve İsviçre’de de otonom araçların test sürüşlerine başlanmıştır (Yetim, 2016). Türkiye’de ise otonom araç kullanımı ile ilgili sürecin henüz çok başlarında olduğunu ve hızlı bir ilerleme kaydedilemediğini söylemek mümkündür. Hali hazırda e-call (112 Acil Çağrı Servisi Tabanlı Araç İçi Acil Çağrı Sistemi) modülü kullanılan araçlarda ve katma değerli hizmetlerde yaşanan çekince ve problemler düşünüldüğünde, tam otonom araçlarda bu durumun çok daha karmaşık bir hal alacağı öngörülmektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülkede, karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlar ve otonom sürüşe yönelik kısa, orta ve uzun vadeli stratejiler oluşturulmuş, planlamalar yapılmış ve çalışmalara başlanmış olup, mevzuat çalışmaları da devam etmektedir. Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) tarafından üretilen yerli aracın 2023 yılında elektrikli olarak piyasaya sürüleceği ve otonom sürüşe hazır şekilde tasarlandığı belirtilmektedir (Url-2) Dolayısıyla Türkiye de otonom araç kullanım sürecinin içinde bulunmak isteyen bir ülkedir.

Tam otonom araçların Türkiye’deki karayollarında kullanılmaya başlanması durumunda, öncelikle ulaşımı düzenleyen ve denetim yetkisi veren iç mevzuat ile birlikte, bilişim-iletişim mevzuatı, tip onayı mevzuatı gibi birçok alanda bu kullanımı kısıtlayacak ya da engelleyecek hükümlerle karşılaşılacaktır. Meydana gelecek otonom araç kazalarında; araç üreticisi, yazılım üreticisi, altyapı hizmet sunucuları, araç sahibi ve sürücünün cezai sorumlulukları konusunda pek çok kargaşa yaşanacaktır. Ayrıca henüz,

otonom araç mevzuatına ilişkin yerleşik bir içtihat ve kaza sonrasında hukuki sorumluluğun nasıl şekilleneceğine yönelik bir uygulama bulunmamaktadır (Semiz, 2020).

Bu çalışmada söz konusu süreçte katkıda bulunmak üzere, otonom araçlara ve karayolu taşımacılığında otonom sürüşe ilişkin, Türkiye'nin ihtiyaç duyacağı mevzuat değişiklikleri ve yenilikleri tespit edilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada, karayolu ulaşım mevzuatı konusunda ilerleme kateden ülkelerin ulusal mevzuatları incelenerek Türkiye için problem oluşturabilecek belirsizlikler öngörülmekte ve bu belirsizliklerin ortadan kaldırılması için öneriler sunulmaktadır.

2. Karayolu Taşımacılığı Motorlu araç mevzuatı

Trafikte kaza riskinin minimize edilerek can ve mal güvenliğinin korunması, araçlar için asgari teknik gerekliliklerin belirlenmesi, çevrenin emisyon ve gürültüye karşı korunması, otomotiv sanayi üretiminin ve ticaretinin küreselleşmesi, serbest dolaşım gibi nedenlerle küresel olarak geçerli karayolu taşımacılığı motorlu araç teknik mevzuatına ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu teknik mevzuat araçların sağlaması gereken asgari şartları belirlemekte olup, üretici firmalar kendi üretimlerine özgü ek özellikler geliştirerek asgari şartlara ek özelliklere sahip araçları üretebilmektedir (Semiz, 2020).

Bu doğrultuda, gelişmiş ve otomotiv sanayisi güçlü ülkeler, otomotiv üreticileri ve sivil toplum kuruluşlarının işbirliği ile araçlarla ilgili uluslararası teknik mevzuat hazırlanmakta ve uygulanmaktadır. Bu mevzuat kapsamında, motorlu araç ve parçalarının belirlenen prosedürlere göre testleri ve denetimleri yapılarak ve üretilecek ürünlerin mevzuata uygunluğu belgelendirilmektedir. Diğer taraftan, motorlu araç üreticileri uluslararası teknik mevzuata uygun üretim yapmakla yükümlü olmakla birlikte, araç arz edeceği ülkenin yerel mevzuatına da uymak zorundadır.

Otomotiv mevzuatı son dönemde gelişmiş ülkelerin öncülüğünde sıfır kaza ve sıfır emisyon vizyonu çerçevesinde şekillenmekte olup, mevzuat ve geliştirilen yeni teknolojiler bir döngü içerisinde birbirini tetiklemektedir.

Anılan teknik mevzuat, sağlanması gereken asgari şartları belirlemekte olup, imalatçı firmalar ayrıca üretimlerine özgü asgari şartların sağlanmasına ilave olabilecek özellikte araçları piyasaya sunabilmektedir. Uluslararası teknik mevzuata gerek duyulmasının diğer temel nedenleri; tip onay belgelendirmesinde uluslararası belirlilik ve ülkeler arasında belgelerin karşılıklı olarak tanınması, üretimin ve ticaretin küreselleşmesi, ticarete teknik engellerin kaldırılması olarak sıralanabilir.

Karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu araçlar ve bunların kullanımı ile ilgili uluslararası mevzuat teknik ve idari boyutları ile iki ayrı başlık altında toplanmaktadır.

2.1. Teknik mevzuat

Karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu araçlara yönelik uluslararası teknik mevzuatı, Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (BM/AEK) Regülasyonları ve Avrupa Birliği (AB) Direktifleri/Regülasyonları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

BM/AEK İç Ulaşım Komitesince hazırlanarak 20.03.1958 tarihinde Cenevre'de imzalanan ve AB üyesi ülkeler dahil olmak üzere 53 ülke ve Avrupa Komisyonu'nun taraf olduğu "Tekerekli Araçların, Araçlara Takılan ve/veya Araçlarda Kullanılan Aksam ve Parçaların Müşterek Teknik Talimatlarının Kabulü ve Bu Talimatlar Temelinde Verilen Onayların Karşılıklı Tanınması Koşullarına Dair Antlaşma (1958 Cenevre Antlaşması)" çerçevesinde motorlu araçlar ve bunların parçalarının uymaları gereken teknik özellikler ile ilgili uluslararası düzenlemeleri belirlemek ve Antlaşmaya taraf olan ülkelere verilecek tip onay belgelerinin karşılıklı tanınması amacıyla BM/AEK Regülasyonları oluşturulmaktadır (Url-3).

1958 Cenevre Antlaşmasına ilk etapta AB üyesi ülkeler taraf olmuş, 1990'dan itibaren otomotiv sektörünün ve dolayısıyla teknik mevzuatın da küreselleşmesi ile birlikte Antlaşmaya katılım artmıştır. Antlaşma gereği; Antlaşmaya ve Antlaşma kapsamında yer alan ilgili Regülasyona taraf olan ülkelerin onay kuruluşları tarafından söz konusu Regülasyonun BM/AEK'da yürürlükte olan seviyesine göre verilen tip onay belgeleri, Antlaşmaya taraf olan ülkelere kabul edilmektedir.

BM/AEK Regülasyonları ilk yayımlandıklarında ihtiyari özellik taşımakta olup, ülkelerin iç mevzuatında zorunlu uygulanmasına yönelik düzenleme yapılması halinde zorunlu olarak

uygulanmaktadır. 1958 Antlaşması kapsamında, Mayıs 2022 itibarıyla 163 adet BM/AEK Regülasyonu bulunmaktadır.

BM bünyesinde; araç&aksam ve bilgi teknolojileri&yazılım üreticileri, trafik güvenliği alanında faaliyet gösteren sivil toplum kuruluşları ve üye ülke temsilcilerinin katılımıyla İç Ulaşım Komitesi (Inland Transport Committee) oluşturulmuştur. Komite altında 6 farklı çalışma komitesi ve bu komiteler altında da alt çalışma grupları yer almaktadır (Url-4). Her bir çalışma komitesi yılda 2 defa Cenevre’de toplanmaktadır. Ayrıca komiteye bağlı Motorlu Araç Regülasyonları Uyumlaştırma Dünya Forumu (WP.29 UNECE World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations) bulunmaktadır. 6 Çalışma Komitesi şunlardır:

- Genel Emniyet Komitesi (GRSG-Working Party on General Safety Provisions)
- Pasif Emniyet Komitesi (GRSP-Working Party on Passive Safety)
- Otonom ve Bağlantılı Araçlar Komitesi (GRVA-Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles)
- Emisyon ve Enerji Komitesi (GRPE-Working Party on Pollution and Energy)
- Gürültü Komitesi (GRBP-Working Party on Noise)
- Aydınlatma ve Işıklı Sinyal Düzenleri Komitesi (GRE-Working Party on Lighting and Light-Signalling)

BM/AEK Regülasyonlarının kabul edilerek yürürlüğe konulmasında ana otorite WP.29 olup toplantılarda, karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu araçlara yönelik teknik mevzuatla ilgili küresel stratejiler, politikalar ve yapılan çalışmalar görüşülmekte, çalışma komiteleri tarafından hazırlanıp onay için gönderilen yeni regülasyon veya regülasyon değişiklik metinleri oylanarak kabul edilerek yayımlanmaktadır. Söz ve oy hakkının bulunduğu WP.29 ve çalışma komitelerinin toplantılarına Türkiye’den katılım sağlanabilmektedir.

1958 Cenevre Anlaşması hükümleri gereğince; Anlaşma ve ilgili Regülasyona taraf olan ülkelerin onay kuruluşları tarafından söz konusu Regülasyonun BM/AEK’da yürürlükte olan seviyesine göre verilen tip onayı belgeleri, Anlaşma ve ilgili Regülasyona taraf olan diğer ülkelerce kabul edilmektedir. Tip onaylarının karşılıklı tanınması; ticarete teknik engelleri önlemekte, ihracatta ilave veya mükerrer test/muayenelerin önüne geçmekte, tasarım, üretim ve onayın yanı sıra araçların ve aksamalarının piyasaya arzının zaman ve maliyetlerini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

AB tarafından gerçekleştirilen otomotiv teknik mevzuatı çalışmaları incelendiğinde ise, çalışmaların ilk olarak 1970’li yıllarda başladığı görülmekte olup, Direktiflerin kabul edilerek yürürlüğe konulmasında ana otorite Avrupa Parlamentosu (AP)’dur. Bu bağlamda, AP tarafından çerçeve Regülasyonlar kabul edilerek yürürlüğe konulmakta ve alt mevzuat ise AB Komisyonu tarafından çıkarılmaktadır.

AB Komisyonu bünyesinde teknik mevzuatın oluşturulduğu ve nihai halinin verildiği yer Motorlu Araçlar Teknik Komitesi ve Traktör Teknik Komitesi’dir. Anılan komiteler altında çalışma grupları bulunmakta olup, bu gruplarda mevzuatın teknik detayları tartışılmaktadır. AB otomotiv teknik mevzuatı çalışmaları Brüksel’de gerçekleştirilmektedir. AB Komisyonu bünyesinde teknik mevzuatın oluşturulduğu ve nihai halinin verildiği yer Motorlu Araçlar Teknik Komitesi’dir (Url-5). Anılan komiteler altında aşağıdaki çalışma grupları yer almaktadır:

- Motorlu Araçlar Emisyon Grubu (MVEG- Motor Vehicle Emission Group)
- Motorlu Araçlar Çalışma Grubu (MVWG- Motor Vehicle Working Group)
- Motosiklet Çalışma Grubu (MCWG- Motorcycle Working Group)
- Traktör Çalışma Grubu (WGAT-Working Group on Agricultural Tractors)
- L Kategorisi Araç Uzmanları Çalışma Grubu
- T Kategorisi Araç Uzmanları Çalışma Grubu

2009 yılı öncesinde araçların aksam/sistemleri ile ilgili ayrı ayrı AB Direktifleri bulunmakta iken, araçların aktif ve pasif güvenlik sistemleri ile ilgili yayımlanan 661/2009/EC Direktifi ile 50 adet AB Direktifi yürürlükten kaldırılmış ve eşdeğeri veya daha ileri seviyede bulunan ilgili BM/AEK mevzuatı zorunlu uygulamaya girmiştir.

AB otomotiv teknik mevzuatının asıl kaynağının BM/AEK Regülasyonları olduğu söylenebilir. AB öncelikli olarak, güvenlikle ilgili BM/AEK mevzuatının doğrudan kullanılmasını benimsemiştir. Geline süreçte, AB Komisyonu bünyesinde motorlu araçlarla ilgili daha çok araçların çerçeve tip onay mevzuatı, emisyon mevzuatı ve aktif/pasif güvenlik sistemlerini ilgilendiren ve temelini BM/AEK Regülasyonlarının oluşturduğu çerçeve mevzuat niteliğindeki 661/2009/EC ve yerine gelen EU-2019/2144 mevzuatı kapsamında çalışmalar yürütülmektedir. Bununla birlikte otomotiv endüstrisinde çeşitli uluslararası standartlar da kullanılabilir.

2.2. İdari mevzuat

1909'da Paris'te imzalanan "Motorlu Araçların Uluslararası Dolaşımı Sözleşmesi", karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu araçlarla ilgili uluslararası ilk anlaşmadır. Onu, 1926'da imzalanan "Motor Trafik Sözleşmesi" takip etmiştir. 1949 yılında, sözleşme içeriği biraz daha detaylandırılarak 95 ülke tarafından Cenevre Karayolları Trafik Sözleşmesi imzalanmıştır. Çok daha fazla ayrıntı içeren sözleşme ise 48 ülke tarafından 1968 yılında imzalanan Viyana Karayolu Trafik Sözleşmesi'dir. Bu sözleşmelerde temel olarak araçların bir sürücü tarafından kontrol edilmesi gerektiği hususları düzenlenmiştir (Yetim, 2016).

Viyana Sözleşmesi, taraflar arasında standart trafik kuralları oluşturarak karayolu güvenliğini artırmak üzere yapılan uluslararası bir antlaşmadır. 1968'de imzalanan antlaşma 74 ülke tarafından onaylanarak 21 Mayıs 1977 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Url-6). Çince, İngilizce, Fransızca, Rusça ve İspanyolcaya çevrilen sözleşmede 56 madde yer almaktadır.

2.3. Türkiye'de mevcut durum

Türkiye'de karayolu taşımacılığında kullanılan motorlu araçlara ilişkin teknik mevzuatın oluşturulması, yayımlanması ve uygulanması konusunda yetkili otorite Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'dır. Bakanlık bu yetkisini; "2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu" nun 29. maddesinde yer alan "Yapım safhasında, araçların Tip Onayı Yönetmeliği ile buna bağlı diğer yönetmeliklerin çıkarılmasına Sanayi ve Ticaret Bakanlığı yetkilidir" hükmü, 7223 sayılı Kanunun 4. maddesinde yer alan "Ürünlerle ilişkin teknik düzenlemeler, yetkili kuruluşça aşağıdaki usul ve esaslar gözetilerek hazırlanır, yürürlüğe konulur veya uygulanır" hükmü ve Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinin 388. maddesinin birinci fıkrasının (g) bendinde yer alan "Araçların karayolu yapısına ve trafik güvenliğine uygun üretilmesi için gerekli teknik düzenlemeleri hazırlamak ve uygulamaya koymak, araçların teknik düzenlemelere uygunluğunu belgelendirmek veya belgelendirilmesini sağlamak" hükmü ile almaktadır (Url-7).

Bu bağlamda, Türkiye'de üretilerek veya ithal edilerek Türkiye piyasasında arz edilecek motorlu araçların asgari olarak Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca yayımlanan teknik mevzuatı sağlamaları gerekmekte olup, Türkiye'de uygulanan motorlu araç teknik mevzuatının esası şu şekildedir: Türkiye ile AB arasında Gümrük Birliğini kuran ve 01.01.1996 tarihinde yürürlüğe giren 1/95 sayılı Ortaklık Konseyi Kararı kapsamında, AB'nin standardizasyon, ölçüm, kalite, kalibrasyon, test akreditasyon ve belgelendirme konularındaki mevzuatın Türk hukuk sistemine dahil edilmesi kararlaştırılmış ve ticarete teknik engellerin kaldırılmasına ilişkin AB müktesebatının listesi ile bu mevzuatın Türkiye tarafından uygulanma koşul ve kurallarını belirleyen 2/97 sayılı Avrupa Topluluğu-Türkiye Ortaklık Konseyi Kararı'na 04.06.1997 tarihinde taraf olunmuştur.

Bu doğrultuda, 97/9196 sayılı Bakanlar Kurulu Kararına göre, motorlu araçlar ile ilgili AB teknik mevzuatının uyumlaştırılmasından sorumlu kurum Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'dır. Bu itibarla, AB'nin motorlu araç teknik (tip onayı) mevzuatı ve altında yer alan ilgili mevzuat 15 ay içerisinde uyumlaştırılarak ulusal mevzuat olarak yayımlanmakta ve uyumlaştırmadan kaynaklı kısa süreli ötelemelerle yürürlüğe girmektedir. Türkiye'de piyasaya sürülecek olan motorlu araçların 19.04.2020 tarihli ve 31104 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan " Motorlu Araçlar ve Römorkları İle Bunların Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerinin Tip Onayı ve Piyasa Gözetimi ve Denetimi Hakkında

Yönetmelik (AB/2018/858)’e uygun olarak belgelendirilmesi ve üretilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, Türkiye’nin motorlu araçlar konusunda ulusal düzenlemesi olan “Araçların İmal, Tadil ve Montajı Hakkında Yönetmelik”in 22. maddesi kapsamında ulusal tip onayı yalnızca Türkiye’de üretilen araçlar için düzenlenmekte olup, ithal edilecek bir araçların her hangi bir AB ülkesinden alınmış tip onay belgesine sahip olması gerekmektedir. AB/2018/858 Yönetmeliği’nin amacı, “Kapsamındaki bütün yeni araç, sistem, aksam ve ayrı teknik ünitelerin tip onayı ve piyasaya arzı ile münferit araçların onayına ilişkin idari ve teknik şartları belirlemektir.” (Url-7)

Diğer taraftan, Türkiye 1958 Cenevre Antlaşmasına 05.01.1997 tarih ve 22868 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan 30.09.1996 tarihli ve 96/8657 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ve “37” üyelik numarası ile taraf olmuştur. BM/AEK Regülasyonları ilk yayımlandıklarında ihtiyari özellik taşımakta olup, ülkelerin iç mevzuatında zorunlu uygulanmasına yönelik hükümler olduğunda söz konusu BM/AEK Regülasyonu zorunlu olarak uygulanmaktadır. Türkiye için hâlihazırda, AB müktesebatına uyum çerçevesinde 25.01.2012 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Motorlu Araçların ve Bunlar İçin Tasarlanan Römorklar, Sistemler, Aksamlar ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ile İlgili Tip Onayı Yönetmeliği (661/2009/AT)” ile 50 adet AB Direktifi yürürlükten kaldırılmış, daha ileri seviyede bulunan 661/2009/AT Ek-3’te listelenen ilgili BM/AEK mevzuatı zorunlu uygulamaya girmiştir.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı bünyesinde Motorlu Araçlar Teknik Komitesi (MARTEK), 11.01.1997 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan “Tekerlekli Araçlar ile Bu Araçlara Takılan ve/veya Araçlarda Kullanılan Aksam ve Parçalar İle İlgili Teknik Mevzuatın Uygulanmasına Dair Yönetmelik” ile kurulmuştur (Url-8). MARTEK bünyesinde 15 adet Alt Komite yer almaktadır (Semiz, 2020). Bu komiteler:

- Genel Emniyet Alt Komitesi
- Pasif Emniyet Alt Komitesi
- Otonom Araçlar Alt Komitesi
- Emisyon Alt Komitesi
- Motorlu Araçlar Alt Komitesi
- Araç Bilgilerine Erişim Alt Komitesi
- Aydınlatma ve Sinyal Düzenleri Alt Komitesi
- Fren ve Tahrik Düzenleri Alt Komitesi
- Gürültü Alt Komitesi
- Lastik Alt Komitesi
- Römork Alt Komitesi
- Motosiklet Alt Komitesi
- Traktör Alt Komitesi
- Teknik Servisler Alt Komitesi
- Araçların İmal, Tadil ve Montajı Alt Komitesidir.

Küresel rekabetin çok çetin olduğu otomotiv sanayinde, özellikle gelişmiş ülkeler sahip oldukları markaların geliştirdiği teknolojileri ön plana çıkarmak amacıyla otomotiv mevzuatını kullanmakta ve kendi markalarının geliştirdiği teknolojileri mevzuatta zorunlu hale getirecek teklifler ve düzenlemeler hazırlayarak bu mecraayı adeta bir pazarlama platformu olarak kullanmaktadır. Bu doğrultuda, ARGE’si bugünlerde yapılan veya mevcut modellerin üst donanımlarında opsiyonel olarak bulunan sistemler, ilerleyen süreçte teknik mevzuat ile üretilen tüm araçlara zorunlu olarak uygulanmak istenmektedir.

AB’de motorlu araçların genel güvenliği ve korunmasız karayolu kullanıcılarının ve yolcuların korunması ile ilgili 16/12/2019 tarihinde yayımlanan ve Türkiye’de de uyumlaştırma çalışmalarına başlanan EU-2019/2144 sayılı AB Regülasyonu ile insanların can/mal güvenliğinin güncel teknolojiye

uyumlu olarak korunmasını sağlamak amacıyla yeni araçlarda zorunlu olarak bulunması gereken aktif ve pasif güvenlik sistemlerine ilişkin düzenlemeler getirilmektedir.

3. Karayolu taşımacılığı otonom araç ekosistemine ilişkin mevzuat

Bir ülkede, dahil olunan uluslararası anlaşmalar ve ulusal mevzuatlar ışığında, karayolu taşımacılığında kullanılacak bir aracın üretilmesi, pazarlanması, sigorta ettirilmesi, kullanılması ve kullanımı sırasındaki kusur ve sorumluluk paylaşımlarına ilişkin çok kapsamlı birden fazla alanda mevzuat ihtiyacı doğmaktadır. Bu kapsamda Türkiye’de de bu alanlara ilişkin ilgili Kanun ve Cumhurbaşkanlığı Kararnamelerinden gelen yetkisini halihazırda kullanan ve bu yetkiye dayanarak mevzuat yayınlayan ve uygulayıcısı olan kamu erkleri bulunmaktadır. Pek çok Bakanlık ve kamu kurumu arasında paylaşılan bu görevler kurumların ilgili mevzuatı ve Kanunlar aracılığı ile kullanılmaktadır (Semiz, 2020). Bu kapsamda çalışmada kapsamında incelenmek üzere;

- Tip Onay Mevzuatı
- Karayolları Trafik Mevzuatı
- Karayolları Taşıma Mevzuatı
- Kişisel Verilerin Korunması Mevzuatı
- Elektronik Haberleşme Mevzuatı
- Araç Muayene Mevzuatı
- Garanti ve Satış Sonrası Hizmetler Mevzuatı
- Cezai Müeyyide ve Sorumluluklara İlişkin Mevzuat
- Sigortacılık Mevzuatı

başlıkları tespit edilmiş ve bu mevzuatlar kapsamındaki eksikliklere ilişkin incelemelerde bulunulmuş ve uluslararası kapsamda yapılmış örneklere atıflar yapılmıştır.

3.1. Tip onay mevzuatı

Araçların karayolu yapısına ve trafik güvenliğine uygun olarak üretilmesi, can, mal güvenliği ve çevrenin korunmasının sağlanabilmesi amacıyla, motorlu araç ve aksamalarının belirli yöntemler çerçevesinde testleri ve çıkan sonuçlara göre mevzuata uygunluğunun belgelendirilmesi (tip onayı) yapılmaktadır.

Otomotiv sanayinin küresel yapısı göz önüne alındığında, ilgili ürünlerin uluslararası piyasada serbest dolaşımını sağlamak üzere ülkelerin mevzuat yapımcıları ile otomotiv imalatçıları ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla araçlarla ilgili uluslararası teknik mevzuat oluşturulmaktadır.

2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununun 29. maddesi çerçevesinde Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (Sanayi ve Verimlilik Genel Müdürlüğü), araçların üretim safhasında veya sonradan tadilat aşamasında uyması zorunlu asgari teknik ve idari şartları belirleyen Tip Onayı Mevzuatının hazırlanması, yayımlanması ve uygulanmasından sorumludur.

Cumhurbaşkanlığı Teşkilatı Hakkında 1 Sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi’nin 388. maddesinde Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı görevleri arasında:

- Sanayi ürünlerine ilişkin teknik düzenlemeleri uyumlaştırmak, teknik mevzuatı ve ilgili standart listelerini hazırlamak ve uygulamaya koymak, teknik düzenlemesi ve standardı bulunmayan sanayi ürünlerinin denetimine esas olacak özelliklerini tespit etmek veya ettirmek,
- Araçların karayolu yapısına ve trafik güvenliğine uygun üretilmesi için gerekli teknik düzenlemeleri hazırlamak ve uygulamaya koymak, araçların teknik düzenlemelere uygunluğunu belgelendirmek veya belgelendirilmesini sağlamak yer almaktadır.

BM/AEK Motorlu Araç ve Aksamalarının Teknik Mevzuatı Hakkındaki 1958 Cenevre Anlaşmasına 5.1.1997 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararı ile taraf olmuştur. Türkiye ile AB

arasında 1.1.1996 tarihinden bu yana uygulamada olan Gümrük Birliği Anlaşması çerçevesinde AB'nin otomotiv tip onayı mevzuatı uyumlaştırılmakta ve uygulanmaktadır.

Türkiye ile AB arasında Malların Serbest Dolaşımı faslındaki AB mevzuatının uygulanmasından ilgili oldukları sektörler itibarıyla birçok kamu kurumu sorumludur. 29.4.1997 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararına göre Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı otomotiv ile ilgili AB ve BM/AEK teknik mevzuatının uyumlaştırılmasında sorumlu kurum olarak görevlendirilmiştir.

Gümrük Birliği Anlaşmasının 8-11. maddeleri kapsamında AB'nin standardizasyon, ölçüm, kalite, kalibrasyon, test akreditasyon ve belgelendirme konularındaki mevzuatının Türkiye hukuk sistemine dahil edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu kararı müteakiben ticarete teknik engellerin kaldırılmasına ilişkin AB müktesebatının listesi ile bu mevzuatın Türkiye tarafından uygulanma koşul ve kurallarını belirleyen 2/97 sayılı Avrupa Topluluğu-Türkiye Ortaklık Konseyi Kararı'na taraf olunmuştur. Otomotiv ile ilgili uyumlaştırılacak mevzuat listesi her yıl güncellenmektedir.

Türkiye, AB otomotiv teknik mevzuatının yanı sıra 1958 Cenevre Anlaşması uyarınca BM/AEK Regülasyonlarını esas almakta ve uygulamaktadır. AB'de öncelikli olarak, güvenlikle ilgili BM/AEK mevzuatının doğrudan kullanılması benimsenmiştir.

Motorlu Araç Regülasyonları Uyumlaştırma Dünya Forumu ve bu foruma bağlı Otonom ve Bağlantılı Araçlar Çalışma Grubu, otonom sürüş kazalarında sorumlunun kim/kimler olacağı, hukuki problemlerin nasıl çözümleneceği ve cezai yaptırımların neler olabileceği konularında çalışmalar yapmaktadır. Çalışma yapılan konu başlıkları şöyledir: araç otomasyonu, bağlantı güvenliği, otomatik sürüş için doğrulama yöntemi, siber güvenlik, yazılım güncellemeleri, otomatik sürüş için veri depolama sistemi, uzaktan kumandalı manevra, gelişmiş acil frenleme sistemleri, acil durumda şeritte tutma sistemleri, izleme sistemleri (Dabak, 2019).

Türkiye'nin, Motorlu Araç ve Aksamlarının Teknik Mevzuatı Hakkındaki Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (BM/AEK)'nin 1958 Cenevre Anlaşmasına taraf olması sebebiyle 1958 Cenevre Anlaşması gereğince BM/AEK Regülasyonları doğrudan Türkiye'de de uygulanmaktadır. Türkiye'de ilgili Regülasyonların uygulamasını teminen SGM-2009/1 Tebliği'nin Ek-1'inde uygulanan BM/AEK Regülasyonlarının listesi yayımlanmaktadır. Bu bağlamda Otonom ve Bağlantılı Araçlar Komitesi bünyesinde otonom araçlara yönelik şu aşamada faal olarak aşağıdaki çalışmalar yürütülmektedir.

- Araç otomasyonu ve bağlantısının güvenliği
- İşlevsel gereksinimler
- Otomatik sürüş için doğrulama yöntemi
- Siber güvenlik
- Otomatik sürüş için veri depolama sistemi
- Uzaktan kumanda işlemleri
- Otomatik olarak kumanda edilen direksiyon sistemleri
- Dinamikler (Direksiyon, Frenleme vb.):
- Gelişmiş acil durum fren sistemleri
- Motosikletler için kilitlemeyi önleyici fren sistemi
- Elektronik denge kontrolü

Karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlar için temel ihtiyaç, kamuya açık yollarda yasalar uyarınca özgürce kullanılabilmesidir. Bu kapsamda, AB üye ülkeleri ve Türkiye'de üretilen ve satılan araçlar, AB/2018/858 sayılı Direktif temelinde düzenlenen tip onayı gerektirmektedir. Bu direktif kapsamında teknik gereklilikler detaylı olarak belirlenmemekle birlikte direktif ekinde BM/AEK regülasyonlarına atıflar yapılarak düzenlemeler 1958 tarihli Avrupa Ekonomik Komisyonu Anlaşmasına uygun olarak formüle edilmiştir.

Otonom sürüş ile ilgili hükümlerin etkilediği regülasyon direksiyon tertibatının tip onayı ile ilgili 79 numaralı regülasyondur (BM/AEK R 79). BM/AEK R 79'un istemiş olduğu direksiyona yönelik bazı hükümler ile birlikte azami hız sınırı problemler oluşturmaktaydı. Bu hükümlerin en kritik olanlarından bir tanesi otomatik kontrollü direksiyon fonksiyonu şartı düzenlenirken bu fonksiyonun kullanımını 10 km/s (%20 tolerans ile 12 km/s) sınırlayan maddenin uygulamasıydı. BM/AEK R 79 değişikliği ile 2016 yılında bu şart kaldırılmış ve Türkiye'de de uygulamadadır. Otomatik kontrollü direksiyon fonksiyonu her biri farklı otonomi seviyesinde kullanılabilir şekilde altı kategoriye bölünmüştür. Bu sayede her hız aralığına bu fonksiyon sürüşe destek verebilecek hale gelmiştir. Son düzenlemelere rağmen sürücünün her kategoride kontrolde kalıp fonksiyon onayları vermesi hala otonom sürüşün üst seviyelerde kullanımını engelleyen engel olarak devam etmektedir.

BM/AEK R 79'un tam otonom sürüşe engel teşkil eden diğer bir unsuru ise sürücünün, otomatik sürüş sürecini aracın hareketlerini sürekli olarak izlemekle yükümlü olması ve sistem tarafından tanınmayan sorunlarda aracın kontrolünü sürdürmek için hazır kalması gerekliliğidir.

GRVA bünyesinde yapılan çalışmalarda otonom araçlara ilişkin regülasyonun ilk taslakları oluşturulmaya başlanmıştır. İlgili ülkelerin katılımı ile çalışmalar tamamlandığı ve yayımlanma aşamasına geçildiğinde Türkiye'de de iç mevzuatta derç etme çalışmalarına başlanacak ve Türkiye'de de uygulanabilecektir. Bu bağlamda, otonom araçlar ekosistemine yönelik olarak Türkiye'nin Dünya ile entegre olduğu alanların başında tip onay mevzuatı gelmekte ve uyum konusunda en başarılı olunan/olunacak olan alanın teknik mevzuat alanı olduğu değerlendirilmektedir.

3.2. Karayolları trafik mevzuatı

1949 yılında Cenevre'de imzalanan ve Türkiye'nin de 1955 yılında taraf olduğu "Karayolları Trafik Sözleşmesi" ile 1968 yılında Viyana'da imzalanan Türkiye'nin de taraf olduğu "Karayolu Trafik Konvansiyonu"na göre karayollarında hareket eden her taşıtın bir sürücüsü olmak zorundadır. Seviye 5 otonom araçların yollarda kullanılabilmesi için iki antlaşmanın hükümlerinin yeniden düzenlenmesi söz konusudur.

Otonom araç çalışmaları konusunda mesafe kateden ülkeler, çeşitli ulusal düzenlemeler yaparak ülkelerinde otonom araç kullanımının önünü açmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'deki bazı eyaletlerde ve bazı AB ülkelerinde 2015 yılından bu yana hayata geçirilen yasal bazı düzenlemeler ile otonom araçların aktif trafikte test edilebilmesi sağlanmıştır. Ancak, olumsuz bir durumla karşılaşıldığında araç kontrolünü ele alması ve hukuki sorumluluğu üstlenebilmesi için araçta bir kişinin bulunması zorunlu tutulmuştur. Norveç, İsveç ve Fransa'da otonom toplu taşıma araçları ile belirlenen bazı güzergâhlarda yolcu taşımacılığı hizmeti verilmeye başlanmıştır. Güney Kore, Macaristan gibi bazı ülkelerde ise otonom sürüşte ortaya çıkabilecek senaryoların modellenildiği demo şehirler oluşturulmuştur. ABD'nin Kaliforniya Eyaleti'nde 2018 yılında, otonom araçlarda acil bir durumda sürücüyü sahip olma zorunluluğu kaldırılmıştır (Dabak, 2019).

Türkiye'de karayolu trafiğini düzenleyen mevzuat "2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu" ve "Karayolları Trafik Yönetmeliği"dir. Hem Cenevre "Karayolları Trafik Sözleşmesi" hem de onu izleyen Viyana "Karayolu Trafik Konvansiyonu", uluslararası karayolu trafiğini kolaylaştırmak, yol güvenliğinin iyileştirilmesi ve belirli bir düzeyde uluslararası uyumlaştırma amacını taşımaktadır. Yol tasarımı ve yapımında, araç teknolojisinde (çarpışmayı hafifletme gibi) ve yol kullanımında (güvenli hızlar gibi) devam eden iyileştirmeler, sözleşmelerin hedeflerine ulaşmada katkı sağlamaktadır.

Sürücü uyarı cihazları, destek özellikleri ve gelişmiş sürücü destek sistemleri (ADAS-Advanced Driver Assistance Systems), giderek yaygınlaşmaktadır. ADAS'ın amacı, teknolojinin elverdiği ölçüde can ve mal güvenliğinin korunmasıdır. Araç Düzenlemelerinin Uyumlaştırılması için WP.29, bazı ADAS sistemleri için teknik düzenlemeleri ve otomatik sürüş için belirli işlevleri detaylandırmaktadır. Onaylandıktan sonra, üreticiler bu düzenlemeleri karşılayan araçlar üretebilir ve bu sistemi bir dizi küresel pazarda yasal olarak satabilir. Ancak sistemlerin piyasada mevcut olması, her zaman bir sürücünün onu halka açık yollarda kullanılmasına izin verildiği anlamına gelmemektedir. Herkesin yasal olarak halka açık yollarda ADAS ve otonom sistemleri kullanmasına ve bunlardan yararlanmasına izin verilebilmesi için, bu sistemlerin çalıştırılmasının her iki Sözleşmeye uygun olması ve Türkiye özelinde de 2918 Sayılı Kanuna uygunluğu aranmaktadır.

BM Yol Güvenliği Forumu uluslararası alanda bu faaliyetleri yürütmektedir: 1968 Viyana Sözleşmesini bazı otomasyon teknolojilerinin kullanımına izin verecek şekilde değiştirmektedir ve derinlemesine çalışma için de Ekim 2015'teki 71. oturumunda bir Gayri Resmi Çalışma Grubu kurmuştur. Bu görev Türkiye'de ilgili mevzuatı uyarınca, İçişleri Bakanlığı ve Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığınca koordineli bir şekilde sürdürülmektedir.

BM Yol Güvenliği Forumu çalışmalarında, uzun vadede bir protokolün kullanılması veya bir değişikliğin gerekli olabileceği konusunda görüş birliğine varılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında, 1968 Viyana Sözleşmesi'nde değişiklik yapılmış ve bu değişikliğin, 1949 Cenevre Sözleşmesi'nin 8. Maddesinin açıklaması olarak görüleceği kabul edilmiştir.

Cenevre Sözleşmesi 8. Madde'nin bir ve beşinci bentleri önem taşımaktadır. Birinci bent "Ayrı olarak seyreden her nakil vasıtasının veya birleşmiş vasıtaların, bir şoför veya sürücüsü olacaktır" mutlaka bir kontrol eden zorunluluğu koşarken, Beşinci bent "Şoför veya sürücüler, her zaman nakil vasıtalarını kontrol ve hayvanlarını şevke muktedir olmalıdırlar. Bunlar, yolu kullanan diğer kimseler kendilerine yaklaştıkları zaman, yaklaşanların emniyeti için gereken tedbirleri almalıdırlar." bu kontrolün sürekli olması gerektiğini hüküm altına almaktadır.

Bu kapsamda ilgili maddede yer alan sorunun aşılabilmesi amacıyla Viyana Sözleşmesinin 8. Maddesi ve 39. Maddesinde Değişiklikler yapılmıştır. Sekizinci maddeye "Araçların sürüş şeklini etkileyen araç sistemleri, uluslararası yasal düzenlemelere göre yapım, montaj ve kullanım şartlarına uygun olduklarında, bu maddenin 5. fıkrasına ve 13. maddenin 1. fıkrasına uygun kabul edilecektir" hükmü eklenmiştir.

Yapılan bu değişiklik neticesinde bir sürücü bulundurulması zorunluluğu hala bulunmakla birlikte sürücünün sistemin kontrolünü istediğinde ele alabileceği seviye 4 ve seviye 5 otonom araçların kullanımına izin verilmiş ve sürücünün her zaman kontrolü elinde bulundurması zorunluluğu kaldırılmıştır.

Türkiye'de konu ile ilgili iç mevzuatta henüz düzenlemeye gidilmemiştir. Bu konuda Almanya örneği ön plana çıkmaktadır. Almanya'da, sürücü ile otonom araç arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin sınırları ve kapsamını düzenlemek üzere, 2017 yılında Alman Karayolları Trafik Kanunu'nda bazı değişiklikler ve eklemeler yapılmıştır. Böylece seviye 3 ve seviye 4 araçların karayollarına çıkabileceği kabul edilerek motorlu araç tanımına §1a ve §1b hükümleri eklenmiştir. Buna göre; 3. (hochautomatisiertes Fahren) ve 4. (vollautomatisiertes Fahren) seviye otonomlaştırılmış araçların kullanımı, amacına uygun şekilde kullanıldığı durumda hukuka uygun olacaktır. Örneğin, 3. ve 4. seviye otonom sürüş sadece otoyollarda imkan tanındıysa, otoyollar dışında otonom sürüş gerçekleştirilemeyecektir. İlgili kanun §1a IV'de sürücü, aracın kontrolünü devralmamış olsa bile, 3. ve 4 seviye otonom sürüş özelliklerini kullanıma açabilen ve bu özellikleri kullanan kişi olarak tanımlanmıştır (Pekmez, 2019)

Almanya örneğinde olduğu gibi Türkiye iç mevzuatında düzenleme yapılmaması durumunda, otonom seviye 3 ve 4 araçların karayollarında kullanımında ciddi hukuki sorunlar doğabileceği, seviye 5 araçların kullanımının ise çok zor olacağı değerlendirilmektedir.

3.3. Karayolları taşıma mevzuatı

Türkiye'de karayolu taşıma mevzuatı kapsamında "4925 Sayılı Karayolu Taşıma Kanunu" ve uygulamasına yönelik olarak "Karayolu Taşıma Yönetmeliği" bulunmaktadır. İlgili mevzuatın amacı; karayolu taşımacılık faaliyetlerini ülke ekonomisinin gerektirdiği şekilde düzenlemek, taşımacılık faaliyetlerinde düzeni ve güvenliği sağlamak, istihdam edilenlerin niteliklerini haklarını ve sorumluluklarını saptamak ve taşımacılık faaliyetlerinde yararlanılan taşıt, araç, gereç, yapı, tesis vb. niteliklerini belirlemektir (Url-7).

Kanun'un 5. maddesi; yolcu taşımacılığı yapılabilmesi için Ulaştırma Bakanlığı'ndan yetki belgesi alınması zorunlu kılmaktadır. İlgili mevzuat; şehirlerarası ve uluslararası yolcu taşımacıları; duraklamalar dâhil olmak üzere yolcunun kalkış noktasından, varış noktasına kadar geçecek süre içinde meydana gelecek bir kaza nedeniyle yolcunun ölümü, yaralanması ya da eşyasının zarara uğramasından dolayı sorumlu tutmaktadır. Karayolu Taşıma Yönetmeliği kapsamında şoför, bir motorlu taşıtı karayolunda süren ve ilgili mesleki yeterlilik belgesine sahip olan sürücüyü ifade etmektedir. Oysaki daha önce bahsedildiği üzere tam otonom araçlarda sürücü aracın kendisi iken, seviye 3 ve 4 araçlarda

ise sürücünün hangi aşamalarda araç hangi aşamalarda ise kişi olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Sürücünün belirlenmesi ilgili mevzuatta belirtilen sorumluluğun paylaşımı yönünden elzemdir. Bununla birlikte sigorta sahasının da belirlenmesi gerekmektedir, sürücü pozisyonunun araç olması durumunda aracın üreticisi firma da benzer şekilde sigorta zorunluluğu kapsamında bulunmaktadır.

Ayrıca ilgili kanun kapsamında oluşabilecek zararlardan sürücü ve işletmecinin müteselsil sorumluluğu belirlenmiştir. Bu durumda ilgili firmanın sürücü konumunda bulunduğu durumlarda işletmecinin müteselsil sorumluluğu da tartışmalı hale gelecektir. Müteselsil sorumluluk şahıstan tazmin edilemeyecek derecede büyük zararların oluşması durumunda zarar göreni korumaya yöneliktir oysaki bu durumda araç üreticisi kendisinden ekonomik gücü çok daha zayıf bulunan işletmeci şemsiyesi alanında bulunacaktır.

Bununla birlikte Kanunun 35. Maddesinde “Şoförler ve bunları çalıştıran yetki belgesi sahipleri, çalışma ve dinlenme süreleri bakımından 20/7/1999 tarihli ve 4411 sayılı Kanunla katıldığımız Uluslararası Karayolu Taşımacılığı Yapan Taşıtlarda Çalışan Personelin Çalışmalarına İlişkin Avrupa Anlaşması (AETR-The European Agreement Concerning the Work of Crews of Vehicles Engaged in International Road Transport) ile 13/10/1983 tarihli ve 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu ile 18/7/1997 tarihli ve 23053 mükerrer sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Karayolları Trafik Yönetmeliği hükümlerine uymak zorundadırlar” hükmü bulunmakta olup referans mevzuat insan yorgunluğu üzerinden hesaplanan çalışma ve mola sürelerine göre hazırlanmaktadır. Tam otonom araçların sürücüdenden bağımsız 24 saat esasına göre çalışabileceği ve bununla birlikte seviye 3 ve seviye 4 otonom araçların sürekli sürücü kontrolünde olmadığı düşünüldüğünde otonom araçlar için çalışma saatlerinin yeni bir bakış açısı ile tekrar düzenlenmesi gerekecektir.

Karayolu taşımacılığında otonom araçlara geçiş sürecinde öncelikli olarak şehirlerarası yük taşımacılığı ve şehir içi yolcu taşımacılığı üzerinde yoğunlaşılacağı öngörülmektedir. Türkiye’de karayolu taşımacılığında otonom araç kullanımı yönünde ciddi yatırım yapan firmalar bulunmaktadır. Bu firmaların başında Ford Otosan-AVL ortaklığı gelmektedir. “Platooning-Otonom Konvoy” teknolojisi geliştirmek amacıyla bir araya gelen bu iki şirket, otonom kamyonlara yatırım yapan ayrıca prototip bir ürüne sahip dünyadaki sayılı kamyon üreticilerindedir. Platooning-Otonom Konvoy sisteminde kamyonlar, hem özel şerit ve yollarda hem de karışık trafikte takım oluşturma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Lider aracı takip eden araçları yönetme şekli araçlar arası iletişim (V2V-Vehicle to Vehicle) şekliyle, araçların yükleri ve fren kapasiteleri dikkate alınarak belirlenir. Bu fonksiyon aynı zamanda yoldaki diğer kullanıcılardan ve alt yapı sisteminden gelen bilgileri derleyerek kurulan kamyon takımlarını birleştirme, dağıtma veya şekil verme işlemlerini gerçekleştirebilir (Url-9).

3.4. Kişisel verilerin korunması mevzuatı

Günümüzde yeni teknolojiler, yüksek karmaşıklık seviyeleri ve sürekli olarak çevrimiçi veri transferleri sebebiyle; kişisel verilerin alınması, paylaşılması ve muhafaza edilmesi noktasında birçok tartışmaya sebep olmaktadır. Nesnelerin interneti ve otonom araçlar tartışmaların en yoğun olduğu alanlardır ve bu alanlarda özel hayatın gizliliği, kişisel veriler ve güvenlik kaygıları ön plana çıkmaktadır.

Türkiye’de “6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu” uygulamadadır. İlgili Kanun kapsamında kişisel veri, “kimliği belirli veya belirlenebilir gerçek kişiye ilişkin her türlü bilgiyi” ifade etmektedir. Kişisel verilerin işlenmesi ise “kişisel verilerin tamamen veya kısmen otomatik olan ya da herhangi bir veri kayıt sisteminin parçası olmak kaydıyla otomatik olmayan yollarla elde edilmesi, kaydedilmesi, depolanması, muhafaza edilmesi, değiştirilmesi, yeniden düzenlenmesi, açıklanması, aktarılması, devralınması, elde edilebilir hâle getirilmesi, sınıflandırılması ya da kullanılmasının engellenmesi gibi veriler üzerinde gerçekleştirilen her türlü işlem” olarak adlandırılmıştır (Url-7). Bu bağlamda incelendiğinde otonom araçlar sürekli çevrimiçi veri transferi ve çevre ile kurduğu bağlantılar sebebiyle sürekli olarak kişisel veri işlemekte ve kullanmaktadır.

İşlenebilecek veriler ve işleme şartlarının ilgili kanun uyarınca mevzuata uygun olması gerekmektedir. Bu kapsamda 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanununda hükme bağlanan kişisel verilerin işleme şartlarına (madde 5, madde 6) uygun hareket edilmesi dâhil, sürücülere yönelik olarak yerine getirilmesi gereken aydınlatma yükümlülüğünün (madde 10), söz konusu sistemler aracılığıyla kişisel verilerin işlenmesine yönelik ilgili kişi haklarının (madde 11) ve veri güvenliğine ilişkin (madde 12) düzenlemelerin de göz önünde tutulması gerektiği değerlendirilmektedir.

Araçlarda yer verilen olay veri kaydedicisi, e-call, V2V, V2X gibi sistemlerin çalışması ve söz konusu sistem ve diğer sistemler içerisinde kaydedilmesi muhtemel kişisel verilerin nerede depolanacağı hususu önem arz etmekte, kişisel verilerin depolanacağı sunucuların yurt dışında bulunan bulut sistemlerinde toplanması halinde, kişisel veriler yurt dışına aktarılmış olacağından, konuya ilişkin 6698 sayılı Kanunun “Kişisel verilerin yurt dışına aktarılması” başlıklı 9. maddesinde yer verilen düzenlemeye uygun olması gerektiği düşünülmektedir.

Bu kapsamda Türkiye’de de otonom araçlara yönelik hükümleri düzenleyen “Motorlu Araçlar ve Römorkları İle Bunlar İçin Tasarlanan Aksam, Sistem ve Ayrı Teknik Ünitelerin Genel Güvenliği ve Korunmasız Karayolu Kullanıcılarının ve Yolcuların Korunması İle İlgili Tıp Onayı Yönetmeliği (AB/2019/2144)” yayınlanmış ve alt mevzuatlarının da yayımlanacağı hüküm altına alınmıştır.

Madde 6’nın 4. fıkrasının (ç) bendinde “Kaydedilebilen veriler, standart bir ara yüz üzerinden, sistem ve ayrı teknik ünite tip onayının amaçları dahil olmak üzere ve 24/3/2016 tarihli ve 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanununa uygun olarak işlenir. Kaydedilen veriler, ulusal mevzuat hükümleri çerçevesinde yalnızca kaza araştırması ve analizi amacıyla veri güvenliğine ilişkin gerekli her türlü teknik ve idari tedbir alınmak suretiyle yetkili kamu kurum ve kuruluşlarına sunulabilir.” hükmü ile kişisel verilerin kullanılmasına yönelik önlem tesis edilmiştir. Bununla birlikte Yönetmeliğin 14. maddesinin 4. bendinde “Bu Yönetmeliğin 6. ve 11. maddelerinin uygulamasında, 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu hükümleri saklıdır.” hükmü ile otonom araçlara ilişkin şartların ulusal mevzuata uygunluğu tesis edilmiştir.

3.5. Elektronik haberleşme mevzuatı

Türkiye’de elektronik haberleşme mevzuatı kapsamında yetkili kurum Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’dır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı adına bu görevi Bakanlığın ilişkili kuruluşu olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) yürütmektedir. Bu kapsamda Türkiye’de “5809 Sayılı Elektronik Haberleşme Kanunu” yürürlüktedir. İlgili Kanunun amacı, “Elektronik haberleşme sektöründe düzenleme ve denetleme yoluyla etkin rekabetin tesisi, tüketici haklarının gözetilmesi, ülke genelinde hizmetlerin yaygınlaştırılması, kaynakların etkin ve verimli kullanılması, haberleşme alt yapı, şebeke ve hizmet alanında teknolojik gelişimin ve yeni yatırımların teşvik edilmesi ve bunlara ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir”. Bir diğer yürürlükte olan Kanun, “5369 Sayılı Evrensel Hizmet Kanunu” dur. Bu kanunun amacı ise “Kamu hizmeti niteliğini haiz, ancak işletmeciler tarafından karşılanmasında mali güçlük bulunan evrensel hizmetin sağlanması, yürütülmesi ve elektronik haberleşme sektörü ile bu Kanun kapsamında belirlenen diğer alanlarda evrensel hizmet yükümlülüğünün yerine getirilmesine ilişkin usul ve esasları belirlemektir” (Url-7).

5809 Sayılı Kanunun 51. maddesinin 6. fıkrasında “Kişisel verilerin yurt dışına aktarılmasına ilişkin ilgili mevzuat hükümleri saklı kalmak kaydıyla, trafik ve konum verileri ancak ilgili kişilerin açık rızaları alınmak koşuluyla yurt dışına aktarılabilir.” hükmüne yer verilmekle birlikte 5369 Sayılı Kanunun 2. maddesi tanımlar bölümünde evrensel hizmet “Türkiye Cumhuriyeti sınırları içinde coğrafi konumlarından bağımsız olarak herkes tarafından erişilebilir, önceden belirlenmiş kalitede ve herkesin karşılayabileceği makul bir bedel karşılığında asgari standartlarda sunulacak olan, internet erişimi de dahil elektronik haberleşme hizmetleri ile bu Kanun kapsamında belirlenecek olan diğer hizmetleri” olarak tanımlanmış ve 3. maddede “Evrensel hizmetin sağlanmasında ve bu hususta yapılacak düzenlemelerde aşağıdaki ilkeler göz önüne alınır:

- a) Evrensel hizmetten, Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde yaşayan herkes, bölge ve yaşadığı yer ayrımı gözetilmeksizin yararlanır.
- b) Evrensel hizmet, fert başına gayrisafı yurt içi hasıla tutarı da göz önünde bulundurularak karşılanabilir ve makul fiyat seviyesinde sunulur.
- c) Düşük gelirliler, engelliler ve sosyal desteğe ihtiyacı olan grupların da evrensel hizmetten yararlanabilmesi için uygun fiyatlandırma ve teknoloji seçeneklerinin uygulanabilmesine yönelik tedbirler alınır.
- d) Evrensel hizmet, önceden belirlenmiş hizmet kalitesi standartlarında sunulur.

e) Evrensel hizmetin sunulmasında ve ulaşılmada devamlılık esastır.” hükümlerine yer verilmiştir (mevzuat.gov.tr, 2022).

Yukarıda yer verilen hükümler beraber değerlendirildiğinde verilerin işlenmesi, depolanması ve aktarılması noktasında bir takım problemlerin bulunduğu görülmektedir. Halihazırda BTK, otonom sistemlerden önce devreye alınan e-call çağrı sistemi özelinde verilerin güvenliğine yönelik bazı düzenlemeler gerçekleştirilmiştir.

BTK, 22.01.2018 tarihli ve 2018/DK-YED/27 sayılı kararında; haberleşme ve bilgi teknolojileri ile iletişim sektöründe yaşanan gelişmelere bağlı olarak kişisel güvenlik, siber güvenlik ve milli güvenlik risklerinin artması, ayrıca acil çağrı merkezinden e-Call çağrısı başlatan numaranın geri aranması durumunda yabancı operatörler üzerinden yapılacak bağlantılarda yaşanabilecek aksaklıklar dikkate alınarak ihtiyaç duyulan bilişim sistem ve hizmetlerinin azami derece yerli ve milli kaynaklardan sağlanması için ilgili modüllerde kullanılacak sim kartların yerli hizmet sağlayıcılarından alınması ve devamında katma değerli hizmetlere yönelik sunucuların yurt içinde kurulması yönünde duruş sergilenmiştir.

Bu uygulamanın ve mevcut pozisyonun devam etmesi halinde otonom araçlar özelinde ciddi problemlerin oluşabileceği ve otonom araçların Türkiye’de haberleşme mevzuatı açısından bir belirsizliğe düşebileceği öngörülmektedir. Daha detaylı açıklamak gerekirse; veri trafiği açısından çevrimiçi çalışan bir otonom aracın veri trafiğini sadece yurtiçi ile sınırlamak mevcut çözümler düşünüldüğünde mümkün görülmemektedir. Dünya çapında otomotiv üreticileri mevcut sunucu yatırımlarının büyüklüğü sebebiyle merkezi bir lokasyon ve veri merkezi tercihiinde bulunmakta ve verilerin bu merkezde işlenmesine ve dağıtılmasına yönelik yatırımlarda bulunmaktadır. Hali hazırda milyonlarca Euro tutarında yatırımın her ülkeye yapılması mümkün olmamakla birlikte o merkezin konumlanacağı pazar büyüklüğü de ciddi önem kazanmaktadır. Türkiye’nin olası AB merkezlerine veri trafiği konusunda mevcut pozisyonunun devam etmesi otonom araçların Türkiye’de kullanımı esnasında çeşitli belirsizlikleri de beraberinde getirebilecektir.

Yasal mevzuat altyapısı ile birlikte karayolu taşımacılığında otonom araçlara geçişte önemli parametrelerden bir tanesi de veri trafiği altyapısıdır. Özellikle 5G geçişi ile birlikte otonom araçların veri altyapısının ve trafiğinin oluşturulabileceği öngörülmekle birlikte bu veri altyapısının tüm ülke sathında bulunması da yine araçların yayılımı konusunda önem arz etmektedir.

Halihazırda Türkiye’nin 4G kapsama alanı %68 seviyesinde iken bu oran otonom araçlar konusunda yatırımları bulunan ABD’de %90, Norveç’te %92 ve Hollanda’da %89 seviyesindedir. Veri iletişiminin hayati önem taşıdığı otonom araçlar için Türkiye’deki mevcut haberleşme altyapısında da iyileştirmeler yapılması gerektiği görülmektedir.

3.6. Araç muayene mevzuatı

Türkiye’de araç muayeneleri ile ilgili mevzuat “2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu, Karayolları Trafik Yönetmeliği” ve “Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik” tir. 2918 Sayılı Kanunun 8. maddesinin (c) bendinde “...karayolu taşımaya ilişkin gerekli koordinasyonu sağlamak, tescile bağlı araçların muayenelerini yapmak veya yaptırmak, muayene istasyonlarını denetlemek, 35. madde hükümlerine aykırı hareket edenler hakkında tutanak düzenleyerek idari para cezası vermek, bu maddede belirlenen idari tedbirleri almak, trafik zabıtasının görev ve yetkileri saklı kalmak üzere, araçların ağırlık ve boyut kontrollerini yapmak veya yaptırmak ve denetlemek, aykırı görülen hususlarla ilgili olarak sorumlular hakkında idari para cezasına dair tutanak düzenlemek” hükmü ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı yetkili kurum olarak belirlenmiştir (Url-7).

Bu kapsamda muayene iş ve işlemlerini düzenlemek üzere yayımlanan Araç Muayene İstasyonlarının Açılması, İşletilmesi ve Araç Muayenesi Hakkında Yönetmelik Türkiye’de usul ve esasları belirlemektedir. Bu Yönetmelik çerçevesinde sunulan hizmetleri ise Bakanlık adına imtiyaz sözleşmesi ile 81 ilde teşkilatlanmış olan TÜVTÜRK devam ettirmektedir. TÜVTÜRK muayene işlemlerinde araçların değerlendirilmesinde baz alınan kusurlara ilişkin tablo ise ilgili kurum ve kuruluşların görüşlerinin alınması neticesinde Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’na ilan edilmektedir.

Mevcut ilan edilen kusur tablosu incelendiğinde kusurların ve buna bağlı sorunların geleneksel araç yaklaşımı ile hazırlandığı görülmektedir. Daha detaylı incelendiğinde direksiyon sistemi başlığı altında klasik direksiyon sistemi ve sorunlarının tarif edildiği görülmektedir. Bununla birlikte sürücünün görüş alanı, aynalar ve koltuk pozisyonları ile ilgili hususlarda da benzer şekilde geleneksel araç yaklaşımı izlenmektedir. Herhangi bir ayna sistemine ihtiyaç duymayan bununla birlikte ters koltuk yerleşimine sahip olacak araçların henüz mevcut tablolarla uyumlu olmadığı değerlendirilmektedir.

Mevcut geleneksel araç yaklaşımı dışında otonom araçların muayene istasyonlarında ayrıca farklı muayenelere tutulması gerekebilecektir. Çok çeşitli sensör ve lidar yaklaşımına sahip araçların kullanıcıdan bağımsız çalışabildiği düşünüldüğünde, mevcut durumda kullanıcı için aynalar, lastikler, görüş açıları ve far desteği gibi hususları önceleyen mevcut yaklaşımdan farklı olarak yeni bir yaklaşımla sadece mekanik kontrolden ziyade elektrik ve yazılımla ilgili bazı kontrollerin yapılması ihtiyacı doğabilecektir.

Tüm hususlar göz önünde bulundurulduğunda muayene kusur tablolarında yeni bir bakış açısı ile düzenlemeler yapılması ihtiyacı oluşacağı ve bu ihtiyacın giderilmesinin karayolu taşımacılığında otonom araç kullanımının muntazam bir düzende sağlanmasında önemli olacağı değerlendirilmektedir.

3.7. Garanti ve satış sonrası hizmetler mevzuatı

Sürücüsüz araçlar ve halihazırda yollarda test edilen ve kullanılan yarı otonom araçlar, ürün sorumluluğu konusunda yeni sorunlar ve belirsiz alanlar ortaya çıkarmaktadır. Bu tür sorunlar, mevcut ürün sorumluluğu ve güvenliği mevzuatı kapsamında hatalı ve hatta güvenli olmayan ürünlerden kaynaklanan kayıplar öngörülen geleneksel sorumluluk anlayışından farklılıklar göstermektedir.

Tüketiciler, önümüzdeki on yıl içinde karayollarında tam otonom araçları daha sık göreceklerdir. Yol güvenliğini iyileştirmek nihai hedef olsa da, üreticiler bu araçlarda kullanılan teknolojinin neden olduğu hasar veya yaralanma olasılığını (sürücünün müdahalesi olmadan) kabul etmelidir. Bu nedenle, üreticiler ve teknoloji sağlayıcıları, bu teknolojik gelişmeler devam ederken ortaya çıkan riskleri ve sorumluluk konularını her geçen gün daha fazla dikkate almaktadır.

Herhangi bir problem çıktığında ya da kayıp ve hasara neden olan kusurlar tespit edildiğinde ürün sorumluluğu kimde olmalıdır? İnsan hatası tamamen ortadan kaldırılmalı mıdır? Sürücünün, üreticinin talimatlarına göre bakım ve servis yapma sorumluluğu var mıdır? Bu tarz sorular ve bu sorulara verilecek cevaplar otonom araç ekosisteminin geleceğini çizmektedir. Geleneksel kullanıcı/sürücü hatasından kaynaklı sorunlardan araçlarda kullanılan teknoloji ürünlerindeki kusurların neden olduğu yeni bir kusur yaklaşımı öngörülmektedir. Sonuç olarak, sorumluluk üreticiye kayacak ve sorumluluk tedarik zincirindeki otonom teknolojinin geliştirilmesinde rol oynayan tüm taraflara paylaştırılacaktır.

“7223 Sayılı Ürün Güvenliği ve Teknik Düzenlemeler Kanunu” uyarınca, bir üretici, kusurlu ürünlerle ilgili olarak sorumludur. Bir ürün, kişilerin genellikle ürünün pazarlanma amacını, kullanım talimatlarını veya uyarıları dikkate alarak kullanımı neticesinde güvenli değilse, ürün güvenliği bakımından kusurludur (Url-7).

Bu nedenle üretilen ürünlerin test edilmesi ve üreticiler tarafından güvenli kabul edilen ürünlerin piyasaya sürülmesi tüketicinin en temel beklentilerinden birisidir. Özellikle kullanıcıların yüksek karmaşıklık içeren teknolojik ürünlerin kusurları hakkında ya da kusurlarının algılanmasının zor olduğu otonom araçlar bağlamında daha da önem kazanmaktadır. Üreticilerin, otonom özelliklerin nasıl güvenli bir şekilde kullanılması gerektiği konusunda tüketicileri yeterince bilgilendirmeleri ve olası riskleri açıklamaları ve gerekli durumlarda üstlenmeleri gerekir. Üreticiler ve yazılım sağlayıcıları, otonom araçlarla ilgili tüketicilere verilen ürün talimatları ve uyarılarının oluşturulması ve kullanılması dikkatli olmalıdır çünkü bu tür belgeler ürün sorumluluğu bağlamında giderek daha önemli hale gelecektir.

Otomobillerde otonom teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmeye devam ederken tüketiciler bir süredir hız sabitleyici, park yardımı, şerit takip sistemi, araç üstü kameralar ve otomatik fren sistemleri ile bu teknolojilerden faydalanmaktadır. Bu teknolojiler, insan müdahalesini teknoloji desteğiyle birleştirmekte ve sürücünün gerekirse aracın kontrolünü ele almasına izin vermektedir. Otonom araçların amacı, nihayetinde güvenliği artırmak ve esas olarak sürücü hatalarından kaynaklanan karayolu kazalarının sayısını azaltmaktır. Bu durumda, otonom bileşenlerin yazılım geliştiricileri ve teknoloji sağlayıcıları, tüketici güvenliği için sıkıca ön plana çıkacaktır. Otonom bileşenlerinden

sorumlu olan tarafların kendi içindeki sorumluluk alanları ile sorumluluğun kullanıcı hatasından üretici sorumluluğuna kaymasıyla ortaya çıkan sorumluluk problemleri ön plana çıkmaktadır.

Ürün sorumluluğu rotasında, sürücü, üretici ve teknoloji/yazılım sağlayıcıları arasındaki sorumluluğun belirlenmesi bu noktadaki en önemli problemdir. Sorumlu birden fazla taraf olabileceği gibi sadece üretici de olabilecektir. Örneğin, İsveç merkezli otomobil üreticisi Volvo, otonom teknoloji tasarımının ve işlevselliğindeki hatalardan kaynaklanan kayıplar için sorumluluğu üretici olarak kabul edeceklerini açıklamıştır. Bununla birlikte, bu konu üretici açıklamaları ya da inisiyatifine bırakılmayacak hukuki bir boyut içermektedir. Bu sistem pratikte nasıl işlemelidir, bu tür güvence, garanti, tazminat, üçüncü şahıslarla ilgili konular nasıl çözümlenmelidir?

Küresel anlamda önümüzdeki süreçte birincil kanıt araçlarda kara kutu zorunluluğu ile sağlanan veriler olacaktır. Yazılımdaki herhangi bir sınırlama ve hataların nasıl oluşmuş olabileceği konusunda görüş belirtmek için uzman görüşleri da gerekebilecektir. Bununla birlikte özellikle yazılım konusunda, iddia edilen veya mevcut bir kusur o esnada endüstri tarafından tespit edilemiyorsa sorumluluk ne şekilde olmalıdır.

Bu konuda en gelişmiş çalışma Otonom ve Elektrikli Araçlar Yasası'nı 2018 yılında yürürlüğe koyan İngiltere tarafından gerçekleştirilmiştir. Otonom araçlar kaynaklı sorunlarda kusur büyük oranda üreticileri verilmiştir. Her ne sebeple olursa olsun otonom bir araçtan kaynaklı problemde üretici yükümlülük altındadır. Bununla birlikte yukarıda açıklanan hususta ise üretici sorumluluk altında olmaktan çıkarılmıştır. Endüstri tarafından bir ürünün o esnada kusurlu olduğu tespit edilemeyecek durumdaysa üretici bu kusurun sorumluluğunu taşımamaktadır. Yasada "İlgili zamanda bilimsel bilginin durumu, söz konusu ürünle aynı tanıma sahip bir ürün üreticisinin, ürünlerinde mevcut olsaydı, kusuru keşfetmesi beklenemezdi." maddesi ile ilgili sorumluluğun taşınması üreticiden alınmıştır. Bununla birlikte otonom araçlar konusunda kullanıcıların araç bakımlarını ve yazılım güncellemelerini yapmamaları takdirde kullanıcıları da sorumlu tutmaktadır ancak bu sorumluluk müteselsil olarak üreticinin sorumluluğunu açık kusur haricinde sonlandırmamaktadır.

Sürücüden üreticiye sorumluluk değişimlerinden kaynaklanan yeni risklerle yeterince başa çıkılabilmesi için mevcut test prosedürlerini ve risk değerlendirmelerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Atılan her adımın gerekçelendirilmesi (tasarım ve üretim süreci ve test aşamasıyla ilgili olarak) ve dokümantasyonunun güncel tutması, üreticinin güvenlik açısından ve son teknoloji veya ilgili endüstri standartlarına uygun olarak makul şekilde hareket ettiğini kanıtlayacaktır.

Ayrıca ürün risklerine yanıt verme politikaları gözden geçirilmelidir. Otonom teknoloji veya bilgisayar korsanlığı olayları için acil ürün geri çağırma işlemleri, bağlı cihazlardan kaynaklanan güvenlik ve emniyet sorunlarının aktif olarak izlenmesi, yazılım bileşenlerinin doğru üreticiler/tedarikçilere kadar izlenebilirliği, otonom bir aracın tedarik zincirindeki tüm ilgili taraflar herhangi bir potansiyel güvenlik sorunundan bilgilendirilmesi gibi hususların ele alınması gerekmekte ve bu hususlar yeni bir otonom araçlar ekosistemi mevzuatı ile ya da ürün güvenliği mevzuatı altında bir alt başlık olarak yer almalıdır.

Tüketicilere verilen otonom ürün talimatlarının ve uyarılarının gözden geçirilmesi ve güvenlikle ilgili tüketici beklentilerinin yeterince karşılanmasının sağlanması için garanti ve satış sonrası hizmetler ve satış sonrası hizmetler yetkilendirilmeleri yeni yaklaşımla ele alınmalıdır.

Üreticiler yeni sorumluluk sorunlarını ele alma ihtiyacının farkına varması ile birlikte mevzuat yapımcıların da bu sorumluluk alanında çalışmalar sürdürmesi önem arz etmektedir.

3.8. Cezai müeyyide ve sorumluluklara ilişkin mevzuat

Türkiye'de cezai müeyyidelere ilişkin çeşitli kanunlar bulunmakta ve hali hazırda yürürlükte. Bu kapsamda üç ayrı sorumluluk sahası ortaya çıkmaktadır. Araç işleticisi, sürücüsü ve üreticisi için ayrı ayrı sorumluluk sahalarının açıklanması ve incelenmesi gerekmektedir.

2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanununda sürücü, "Karayolunda, motorlu veya motorsuz bir aracı veya taşıtı sevk ve idare eden kişi" olarak tanımlanırken şoför ise "Karayolunda, ticari olarak tescil edilmiş bir motorlu taşıtı süren kişi" olarak tanımlanmıştır. Araç sahibi veya uzun süreli kiralayan kişi ise "işleten" olarak tanımlanmıştır (Url-7).

Karayolu Trafik Kanunu, bir motorlu aracın işletilmesi ölüm, yaralanma ya da herhangi bir maddi kayba neden olursa, motorlu aracın işletenini doğan zarardan sorumlu tutmaktadır. Dolayısıyla ilgili hüküm uyarınca ilk şart aracın işletilmesidir ve sorumluluk ancak aracın işletilmesi ile başlayabilir (Çekin, 2018). Bu bağlamda temel anlayış, işletenin sorumluluğunun tehlike esasına dayandığıdır. Tehlike sorumluluğu kavramı, belirli bir tehlike kaynağını işleten kişinin kusuru olmasa bile bu tehlikenin neden olduğu zarardan sorumlu tutulmasıdır. Ancak işletenin sorumluluğunun oluşabilmesi için kazanın aracı harekete geçiren mekanik bir aksaklık sebebiyle meydana gelmesi gereklidir. Otonom sürüş çerçevesinde bu madde değerlendirildiğinde, aracın çevresindeki nesnelere yanlış algılaması veya araçta bulunan bir sensörün arızalanması ya da hatalı yazılım sonucunda meydana gelen bir trafik kazası doğrudan araçtan kaynaklanan bir kaza olarak değerlendirileceği için, aracı işleten kendi kusuru olmadığını ispatlarsa dahi 2918 Sayılı Kanun uyarınca sorumlu bulunacaktır. Ancak aracın siber saldırılara uğraması durumunda sorumluluğun kimde olacağı tartışma konusudur (Çolak, 2019).

Türk hukukunda sürücünün sorumluluğu, genel hüküm niteliğindeki “6098 Sayılı Türk Borçlar Kanunu” 49. madde kapsamında ele alınmaktadır. İlgili maddede “Kusurlu ve hukuka aykırı bir fiille başkasına zarar veren, bu zararı gidermekle yükümlüdür. Zarar verici fiili yasaklayan bir hukuk kuralı bulunmasa bile, ahlaka aykırı bir fiille başkasına kasten zarar verende, bu zararı gidermekle yükümlüdür.” hükmü amirdir (Url-7). Otonom araçlar özelinde bu maddenin uygulanabilmesi için aracın hakimiyetini hakkında inceleme ve değerlendirme yapılmalıdır. Aracın sürücü hakimiyetinde bulunması durumunda ilgili madde sürücü açısından uygulanabilir durumdadır ancak aracın hakimiyetinin sürücü tarafından tamamen araca teslim edildiği durumlarda sürücü ve araç kusurunun ve ne oranda dağılacığının tespit edilmesi gerekmektedir. Otonom sürüş esnasında sürücünün tamamen güvenle sistemi devredebileceği bir ortam oluşturulduğu bilgisi sürücüde mevcutsa ve üretici de bu bilginin oluşmasını kabul ediyor ve hatta teyit ediyorsa aracın sürücü pozisyonu artık otonom sisteme geçmiş bulunmaktadır. Bu konuda iki ayrı süreç ortaya çıkmaktadır. Birinci görüş aracın kontrolünün usulüne uygun şekilde otonom sisteme bırakılması durumunda sürücü sıfatının artık araca geçeceği ve bu durumda araç kullanıcısının sürücü sorumluluğu altında olmayacağı şeklinde iken ikinci görüşe göre ise kullanıcı aracın kontrolünü devretmiş dahi olsa özen yükümlülüğü altındadır ve sistem hatalarını da göze almış durumdadır (Çekin, 2018).

Ancak bu iki görüşün de açmaz noktaları bulunmaktadır. Türk Borçlar Kanununda, araç işleten tehlike sorumluluğu çerçevesinde sorumlu tutulurken sürücü ise kusur sorumluluğu çerçevesinde sorumlu kılınmıştır. Otonom araç kullanan bir kullanıcının özenli davranması ve özen sorumluluğu çerçevesinde sorumlu tutulması mümkün görülmemektedir. Şöyle ki; usulüne uygun bir şekilde kontrolü devreden kullanıcı artık sürücü olarak bir sorumluluk taşımamakta ayrıca sistem üzerinde de bir etkisi bulunmamaktadır. Diğer taraftan otonom sistem kullanımının başlı başına özensiz davranış olarak değerlendirilmesi hem hukuk düzeninin kurduğu menfaat dengesine aykırı bulunmakta hem de birçok yeni teknolojinin kullanımı önünde ciddi bir yasal engel teşkil etmektedir. Dolayısıyla kullanıcının sadece otonom sistem kullanması sebebiyle sorumlu tutulması, kusur sorumluluğu ile tehlike sorumluluğu arasındaki sınırı ortadan kaldırmaktadır. Bu durumda sürücünün sorumluluğu kusur sorumluluğundan kusursuz sorumluluğa dönüşecektir ki, bu da kanunun içeriğine aykırıdır. Bu durumda, otonom araç kullanan sürücünün sorumluluğu nasıl belirlenmelidir sorusu karşımıza çıkar. Bu soruya şöyle verilebilir: Bu tür araçların kullanımı sırasında sürücü tüm uyarılara uygun davranmalı ve gerekli bakım ve kontrolleri yapmalıdır. Tüm kontrolleri yapılmış aracın kullanıcı tarafından tam otonom sisteme devredilmesi durumunda, bu devirden sonra oluşabilecek muhtemel kaza ve zararlardan artık aracı kullanan kişi sorumlu olmayacaktır. Çünkü aracı kullanan artık sürücü konumunda değildir ve kusur sorumluluğu bulunmamaktadır.

Üreticinin sorumluluğu konusunda ulusal mevzuatta bir tartışma söz konusudur. Bir görüşe göre kanunda örtülü bir boşluk varken diğer görüş sorumluluğun dayanağını 4077 sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun’da görmektedir (Kulaklı, 2009). Otonom araç ve sistem üreticileri de tasarım ve üretim aşamalarında makul olarak görülen gösterilmesi gereken bütün özeni göstermekle yükümlüdür. Halihazırda otonom araçlar için yayınlanmış test ve belgelendirme standartları ve teknik mevzuat konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Ancak bu mevzuat boşluğu üreticileri sorumluluktan kurtarmamaktadır. Üreticinin sorumluluğu sadece tasarım ve üretim aşamalarıyla kısıtlı değildir. Bunlarla birlikte üreticiler araçların siber saldırılara karşı korunması için gerekli mekanizmaları

geliştirmekle de sorumludur. Bu durumda işletenin sorumluluğu kusur değil tehlike sorumluluğu iken üreticinin ise kusur sorumluluğu bulunmaktadır. Kazanın/zararın tasarım ya da yazılım hatasından meydana gelmesi halinde üreticinin ve araç işletenin müteselsil sorumluluğu bulunduğu ifade edilebilir. Ancak zararın nasıl paylaşılacağı hakkında açık bir hüküm bulunmamaktadır.

Mart 2018’de meydana gelen ve Uber aracın bir yayanın ölümüne yol açması ile sonuçlanan ilk otonom araç kazası sorumluluğun kimde olduğu konusundaki hukuki, etik ve sosyal tartışmaları gündeme getirmiştir. Hatta felsefi olarak tartışılan “Vagon İkilemi (Trolley Dilemma)” problemi, otonom araçlarla birlikte tekrar gündeme gelmiştir. Türk hukuk sisteminde kişinin ceza sorumluluğundan bahsedebilmek için kast ya da taksirin bulunması gerekir. Aksi takdirde meydana gelen sonuçtan kişiyi sorumlu tutmak mümkün değildir. Otonom bir aracın yol açtığı bir kazada kasıttan söz edilemez. Ancak meydana gelecek kazalarda taksir unsuru dikkatle irdelenmelidir. Türk Ceza Kanunu’nda taksir, dikkat ve özen yükümlülüğüne aykırılık dolayısıyla, bir davranışın suçun kanuni tanımında belirtilen neticesi öngörülmeyle gerçekleştirilmesidir. Otonom araç kazalarında taksir nedeniyle ölüm ve/veya yaralanma gerçekleşirse, sorumluluk araç işleteni, sürücü, araç üreticisinden hangisine/hangilerine ait olacaktır? Araç işletenin tüm dikkat ve özeni göstermesi gerektiği düşüncesi savunulursa bu durum otonom araçların kullanım amacına aykırı düşecektir. Araç üreticisinin özen göstermesi gerektiği fikri savunulduğunda ise; araçta tasarım ve yazılım hatası olmadığı ve üreticinin gerekli tüm bilgilendirmeleri yaptığı durumda kazadan sorumlu tutulması halinde menfaat dengesine uymayan bir sonuç ortaya çıkacaktır. Aracı otonom sistem sürerken meydana gelen kazadan sistemin sorumlu tutulması ise yapay zekaya uygulanacak yaptırımın nasıl olacağı sorusunu akla getirecektir (Çolak, 2019).

Tüm bu incelemeler ışığında otonom araçlar özelinde özel bir düzenleme ihtiyacı olduğu açıktır. Giderek çoğalan sayıda aracın trafiğe çıkması giderek artan sayıda kaza ve buna bağlı can ve mal kayıplarını beraberinde getirecektir. Bu denli kamu güvenliği ve halk sağlığını ilgilendiren sosyal bir olgunun kanunlarımızdaki genel maddeler ve buna bağlı yorumlar ile çözülemeyeceği veya en azından belirsizlik oluşturabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de de otonom, bağlantılı, yapay zeka sahibi araçların cezai müeyyidelerine ilişkin açık ve sarıh bir şekilde anlaşılabilir bir mevzuat ihtiyacı bulunması sebebiyle bu konunun irdelenmesi ve çözüme kavuşturulması gerekmektedir.

3.9. Sigortacılık mevzuatı

Türkiye’de sigortacılık alanında “5684 Sayılı Sigortacılık Kanunu”, “6502 Sayılı Tüketicinin Korunması Hakkında Kanun” uygulamadadır. Bununla birlikte Hazine ve Maliye Bakanlığı’nca yayımlanan “Motorlu Araç Sigortaları Kapsamında Tam Hasara ya da Ağır Hasara Uğramış Araçlarla İlgili Mevzuata Aykırı Uygulamaların Önlenmesi Hakkında Genelge”, “Karayolları Motorlu Araçlar Zorunlu Mali Sorumluluk Sigortasının Uygulanmasına İlişkin Genelge” bulunmaktadır (Url-7).

Günümüze kadar, otomotiv sektörü bağlamında bir ürün sorumluluğunun nerede başlayıp nerede sonlanacağı ilgili mevzuat ve uygulamaları uyarınca oldukça açık ve anlaşılır durumdaydı. Bir aracın belirli parçaları sürücü tarafından çalıştırılır ve kontrol edilir ve bu durumda arıza ve hata seçenekleri dışında kişisel yaralanma, ihmal veya cezai işleme sebep olacak unsurlar sürücüye karşı olası kişisel hak talebine yol açan tüketicinin yanlış kullanımının bir sonucu olmaktadır. Sorumluluk, gerekli şartların sağlandığı durumlarda ilgili sigorta poliçesine istinaden imalatçıdan bağımsız olarak sürücüye aittir. Bununla birlikte, bir imalat tasarım hatası, kusur veya makul ve beklenen özen ve dikkatin gösterilmemesi sonucunda oluşan kusurlar, ürün sorumluluğu yasaları kapsamında üreticiye karşı da hak talebine yol açmaktadır.

Mevcut durumda “Karayolları Motorlu Araçlar Zorunlu Mali Sorumluluk Sigortası Genel Şartları” taslak halinde Türkiye Sigorta Birliği tarafından yayımlanmakta ve sigorta şirketlerince esas alınarak kullanılmaktadır. İlgili belgede “Bu Genel Şartların amacı, 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu uyarınca motorlu araç işletenlere yüklenen hukuki sorumluluk için düzenlenen Karayolları Zorunlu Mali Sorumluluk Sigortası ilgililerinin hak ve yükümlülüklerine ilişkin usul ve esasların düzenlenmesidir. Bu Genel Şartlar ekleriyle bir bütün olup söz konusu ekler Hazine ve Maliye Bakanlığı’nca değişen şartlara uyum amacıyla yeniden düzenlenebilir. Bu durumda kaza tarihi itibarıyla geçerli ekler uygulamaya esas alınır.” şeklinde belirlenmiştir.

İlgili şartlar kapsamında otonom araçlar özelinde en önemli hususlardan bir tanesi sigortalı tanımının nasıl yapılacağı ve sigorta sorumluluğunun nasıl sağlanacağıdır. İlgili şartlar kapsamında “Sigortalı:

Police konusu motorlu araçta 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanununa göre işleten sayılan kişi” olarak tanımlanmıştır. Karayolları Trafik Kanunu kapsamında işleten ise, “Araç sahibi olan veya mülkiyeti muhafaza kaydıyla satışta alıcı sıfatıyla sicilde kayıtlı görülen veya aracın uzun süreli kiralama, ariyet veya rehini gibi hallerde kiracı, ariyet veya rehin alan kişidir. Ancak ilgili tarafından başka bir kişinin aracı kendi hesabına ve tehlikesi kendisine ait olmak üzere işlettiği ve araç üzerinde fiili tasarrufu bulunduğu ispat edilirse, bu kimse işleten sayılır.” olarak ve zarar ise “Motorlu bir aracın işletilmesi ile oluşan bir trafik kazası sonucunda üçüncü şahısların ekonomik değeri olan mal varlığında doğrudan azalma olmasına veya bir kimsenin vücut bütünlüğünde eksilmeye, sürekli sakatlığa veya ölüme sebebiyet verilmesi nedeniyle ilgililerin uğradıkları maddi kayıplar” olarak tanımlanmıştır (Url-7).

Tanımlardan anlaşılacağı üzere Türkiye’de sigortacılık sistemi öncelikli olarak şahıs sorumluluğu ve kusuru üzerine kurulmuştur. Sigortalı aracı işleten yani kullanan kişi olarak tanımlanmışken, bununla birlikte zarar ise işleten kişinin üçüncü kişiler üzerinde oluşturacağı negatif değişiklik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu husus göz önünde bulundurulduğunda otonom bir araca ne şekilde sigorta yaptırılacağı ya da sigorta konusunda sorumlunun kim olacağı Türkiye’de belirsiz bir alandır. Aracın sahibi sigorta yaptırabilecek ve işletici sorumluluğunu üstlenebilecek midir veya üstlenmesi doğru mudur? Bu konunun netleştirilmesi gereklidir. Bununla birlikte mevcut durumda teminat dışında kalacak haller başlığı altında;

- İşletilme halinde olmayan araçların sebep olacağı zararlar,
- Sigortalının sorumluluk riski kapsamında olmayan tazminat talepleri,

maddeleri de bulunmaktadır. İlgili maddeler incelendiğinde tam otonom bir aracın işletilme halinin ne şekilde olacağı belirlenmelidir. Aracın sürüş esnasında işleticisi ilgili firma mı yoksa sadece güzergahı giren kullanıcı mı olacaktır? Kullanıcının sigorta yaptırmaması durumunda mevcut sigorta şartlarında işletici ilgili firma kabul edilerek teminat dışı bırakılabilir. Bununla birlikte mevcut sürüşün sigortalının sorumluluk riski kapsamında olmaması da başka bir tartışmalı husus olarak öne çıkmaktadır.

Karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlar için sigortacılık alanında yeni bir bakış açısı ile yeni bir police sistemi ihtiyacının oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu konuda Birleşik Krallık’ta devam eden çalışmalar öncülük etmektedir. Sigorta şirketleri, 2018 yılında yayınlanan Otonom ve Elektrikli Araçlar Yasası kapsamında otonom araçların neden olduğu kazalardan birincil derecede sorumlu tutulmuştur. Otonom aracın sigortalı olması durumunda, sigorta şirketleri, aracın şoför tarafından sürülmesine veya sürücüsüz moda olmasına bakılmaksızın kazalardan kaynaklanan ölüm, kişisel yaralanma veya sigortalı bir tarafın maruz kaldığı belirli mülklere verilen zararlardan sorumlu tutulmuştur. Sigorta şirketleri, sigortalıların yetkisiz yazılım değişiklikleri yaptığı, güvenlik açısından kritik olan makul seviyede anlaşılabilir sorunları bildirmedikleri, güvenlik açısından kritik güncellemeleri yapmadıkları durumlarda sorumluluğu tam olarak kabul etmeyebilecek ya da sınırlayabilecektir. Buna ek olarak, sigorta şirketleri, kazadan etkilenenlere tazminat olarak ödedikleri parayla ilgili olarak kazadan sorumlu olanlara karşı dava açma hakkına sahip olabileceklerdir. Bununla birlikte sigorta şirketleri, bu yükümlülüğü devretmeye ve mevcut ürün sorumluluk yasaları kapsamında otomotiv üreticilerini sigorta altına alacak ve bu meblağları üretici sigortalılarından tahsil edeceklerdir.

Birleşik Krallık tarafından kurulan bu sigorta düzeni son basamak olarak gerçekleşmiş ve Nisan 2021 itibarıyla tam otonom araçların Birleşik Krallık yollarında legal olarak kullanılabilmesi ve özel izinleri ihtiyaç duymaması teminat altına alınmıştır. Türkiye özelinde mevcut yasa, genelge ve bu genelgelerin uygulama şartları açısından tespit edilen eksikliklerin giderilmesi ve otonom araç ekosistemine uygun tanımların ve sorumluluk paylaşımının belirlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

2015 yılından bu yana, karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlarla ilgili yasal düzenleme çalışmaları devam etmektedir. 2015-2025 yılları, otonom araçlarla ilgili yasal düzenlemelerin hızla hayata geçirileceği bir dönem olacaktır. Litman’a göre 2020-2040 yılları arasında karayolu taşımacılığında otonom sürüşe yönelik alt yapı çalışmaları tamamlanacak, 2020-2030 yılları arasında otonom araçlar satışa sunulacak, 2030-2040 yılları arasında otonom araçlarla ilgili yeni iş modelleri geliştirilecek, 2040-2050 yılları arasında düşük gelirli insanlar da otonom araca sahip olmaya başlayacak, 2050-2060 yılları arasında paylaşımlı otonom araç kullanımı yaygınlaşacak, 2060 yılından

sonra da otonom araç kullanımını zorunlu olacaktır (Litman, 2022). Tüm bu öngörüler ışığında; otonom araçlar ve otonom sürüş, gelecekte hem ulaşım yapısını hem de toplumsal yapıyı büyük bir dönüşüme karşı karşıya bırakacaktır. Bu dönüşüme pek çok ülke gibi Türkiye’de henüz hazır değildir. Otonom araçların üretimi ve teknolojik altyapısı konusunda yapılan çalışmalar her geçen gün ivme kazanmakta ve gelişmeler hızla devam etmektedir. Bu gelişmelerle birlikte otonom sürüşle ilgili mevzuatı çalışmalarının da bir an önce yapılması gerekmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada, karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlara ve otonom sürüşe ilişkin Türkiye’nin ihtiyaç duyacağı mevzuat değişiklikleri ve yenilikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada elde edilen temel bulgular şunlardır:

- Otonom araçlar ekosistemine yönelik olarak Türkiye’nin Dünya ile entegre olduğu alanların başında tip onay mevzuatı gelmektedir. Uyum konusunda en başarılı olunan/olunacak olan alan teknik mevzuat alanıdır.
- 3. 4 ve 5. seviye otonom araçların kullanımına ilişkin Türkiye henüz pozisyon almamış, ilgili değişiklikler için iç mevzuatta düzenlemeye henüz gidilmemiştir. Bu düzenlemelerin yapılmaması durumunda otonom seviye 3 ve 4 araçların kullanımında ciddi hukuki sorunlar doğabilecek, seviye 5 araçların kullanımı ise çok zor olacaktır.
- Otonom araçların sürücüden bağımsız 24 saat esasına göre çalışabileceği ve bununla birlikte seviye 3 ve seviye 4 otonom araçların sürekli sürücü kontrolünde olmadığı düşünüldüğünde otonom araçlar için çalışma saatlerinin yeni bir bakış açısı ile tekrar düzenlenmesi gereklidir.
- Otonom araçlar sürekli çevrimiçi veri transferi ve çevre ile kurduğu bağlantılar sebebiyle sürekli olarak kişisel veri işlemekte ve kullanmaktadır. Kişisel verilerin korunması hususunda otonom araçlara ilişkin şartların ulusal mevzuata uygunluğu ile kişisel verilerin kullanılmasına yönelik gereken önlemler mevzuatımızda tesis edilmiştir.
- Otonom araçlara yönelik mevcut haberleşme altyapısında iyileştirmeler yapılması gereklidir. Özellikle 5G’ye geçişle birlikte haberleşme altyapısının tüm ülke sathına yayılması sağlanmalıdır.
- Araç muayene sürecinde, muayene kusur tablolarının otonom araç özelliklerini dikkate alacak şekilde düzenlenmesi gereklidir.
- Otonom sürüşe ilişkin cezai sorumluluk açısından Türkiye’de özel bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu konuda ivedilikle mevzuat çalışmaları başlatılmalıdır.
- Otonom bir araca ne şekilde sigorta yaptırılacağı ya da sigorta konusunda sorumlunun kim olacağı Türkiye’de henüz belirsiz bir alandır. Bu konuda da mevzuat çalışmalarının ivedilikle başlatılması, otonom araç ekosistemine uygun tanımların ve sorumluluk paylaşımının belirlenmesi gereklidir.

Karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlar ve otonom sürüşe ilişkin mevzuatın; Türkiye Büyük Millet Meclisi, Adalet Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı, Ticaret Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı, Kişisel Verilerin Koruma Kurumu, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu gibi çok sayıda kurum ve kuruluşun yetki alanlarına dağıldığı görülmektedir. Konu ile ilgili sorumluluk ve yetkisi bulunan çok sayıda kurumun varlığı, eş zamanlı ve etkin politikalar üretilmesinde ve mevzuat çalışmalarının gerçekleştirilmesinde güçlük yaratmaktadır. Kurum öncelikleri, farklı politikalar, teknik görüş ayrılıkları vb. sebeplerle, tüm kamu erkinin aynı doğrultuda ve etkin pozisyon alma sürecindeki zorlukların aşılabilmesi için, ilgili mevzuatın kurumlar üstü irade ile çıkarılmasının mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda Birleşik Krallık örneği değer kazanmaktadır. Birleşik Krallıkta “Otonom ve Elektrikli Araçlar Yasası” 2018 yılında kabul edilerek kademeli olarak yürürlüğe alınmıştır, yasa kapsamında otonom araçlar özelinde birden fazla sorumluluk alanına ilişkin düzenlemelerde bulunulmuştur. Türkiye’de de aynı yöntemle karayolu taşımacılığında kullanılan otonom araçlara ilişkin üst norm olarak kanun yoluyla düzenleme yapılabileceği ve bu yöntemle hızlı, işlevsel ve bağlayıcı bir çözüm ortaya konulabileceği düşünülmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Çalışma, ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazarın devam eden doktora tez çalışması kapsamında üretilmiştir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE), (2016). *Report of the seventy-second session of the Working Party on Road Traffic Safety, 19 Nisan 2016*. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp1/ECE-TRANS-WP.1-153e.pdf>

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE), (2019). *Safety at core of new Framework to guide UN regulatory work on autonomous vehicles, 4 Eylül 2019*. <https://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/transport/2019/safety-atcore-of-new-framework-to-guide-un-regulatory-work-on-autonomousvehicles/doc.html#:~:text=%E2%80%9CThe%20level%20of%20safety%20to,or%20death%20that%20are%20reasonably>

Çekin, M.S., (2018). Otonom Araçlar ve Hukuki Sorumluluk, *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi (TAAD)*, Yıl:9, Sayı:33: 283–303.

Çolak, B., (2019). Otonom Araçların Yasal Sorumluluğu. <https://medium.com/deep-learning-turkiye/otonom-ara%C3%A7lar%C4%B1n-yasal-sorumlulu%C4%9Fu-bcf9efcf1a18>

Dabak, E., (2019). Avrupa’da Otonom Sürüş Geçişte Gerekli Teknolojilerin, Alt Yapı Sistemlerinin ve Regülasyonların İncelenmesi ve Ülkemizin Otonom Sürüş Geçiş Sürecinin Araştırılması, *Anahtar, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Aylık Yayın Organı*, Ekim 2019:32 <https://verimlilik.kutuphanesi.sanayi.gov.tr/Library/ShowPDF/952>

Kulaklı, E., (2009). Ürün Sorumluluğu ve Ayıp Kavramı, *On İki Levha Yayıncılık*, İstanbul.

Litman T., (2022). Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning. *Victoria Transport Policy Institute*. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>

Maurer, M. Gerdes C. Lenz, B. Winner, H., (2016). Autonomous Driving Technical, Legal and Social Aspects, *Springer*. DOI:10.1007/978-3-662-48847-8

Pekmez, C., (2019). Alman Karayolları Trafik Kanunu’nda 20 Haziran 2017’de Yapılan Değişiklikler Çerçevesinde Türk/ İsviçre Hukuku’nda Araçların Otonomlaştırılmasının İşletenin Sorumluluğuna Etkisi, *İstanbul Hukuk Mecmuası*, 77 (1): 153–184 2019. DOI: 10.26650/mecmua.2019.77.1.0005

SAE Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği, (2018). SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self Driving Vehicles. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/saeinternational-releases-updated-visual-chart-for-ist%E2%80%9Clevels-of-drivingautomation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>

Semiz, H., (2020). Otonom Araçların Geliştirilmesi ile Kullanılmasına İlişkin Teknik Mevzuat İhtiyacının Belirlenmesi, Uzmanlık Tezi, *Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı*, Ankara.

Yetim, S., (2016). Sürücüsüz Araçlar ve Getirdiği/Getireceği Hukuki Sorunlar, *Ankara Barosu Dergisi*, 2016(1):126-184.

Url-1 <<https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemler-aus>>, erişim tarihi 22.03.2022

Url-2 <<https://www.hurriyet.com.tr/galeri-togg-ceosu-acikladi-yerli-otomobil-togg-ne-zaman-cikacak-seri-uretime-ne-zaman-gececek-41975828/2>>, erişim tarihi 06.01.2022

Url-3 <<https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>>, erişim tarihi 10.01.2022

Url-4 <<https://unece.org/wp29-introduction>>, erişim tarihi 10.01.2022

Url-5 <<https://ec.europa.eu/transparency/comitology-register/screen/committees/C35300/consult?lang=en>>, erişim tarihi 15.04.2022

Url-6

<https://www.nvi.gov.tr/kurumlar/nvi.gov.tr/mevzuat/nufusmevzuat/milletlerarasi/DigerSozlesmeler/karayolu_trafigi_konvansiyonu.pdf>, erişim tarihi 14.02.2022

Url-7 <<https://www.mevzuat.gov.tr/>>, erişim tarihi 14.02.2022

Url-8 <<https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/22874.pdf>>, erişim tarihi 10.02.2022

Url-9 <<https://blog.ford.com.tr/platooning-gelecegin-teknolojisi>>, erişim tarihi 29.03.2022

Research Article

Importance of A-pillars of vehicles during intersection approach

Ekinhan Eriskin

Property Protection and Security Department, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

*Correspondence: ekinhaneriskin@sdu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1104161

Abstract: Pillars are essential since they ensure body strength for vehicles. However, they are solid and opaque parts between the windshield, side and rear windows. Especially the first, A-pillar, and last are designed as thick as possible to improve the body strength. This study focuses on the blind spot caused by the A-pillar of the vehicle. A numerical analysis has been performed to determine the velocity relations between the two vehicles. One stays in the blind place of the other. Nine different driver scenarios have been given. These scenarios depend on the position of the driver and the A-pillar section length. Based on the numerical analysis of the scenarios, vehicles that must give way notice the vehicle passing right 1.62 seconds before they both arrive at the intersection for low speeds. With the increase in speed, the time needed to arrive at the intersection decreases significantly. As a result, the A-pillar design parameters should also be considered when analysing an accident at the intersection.

Keywords: Traffic safety, A-Pillar, blind spot

Kavşak yaklaşımında araçların A-sütunlarının önemi

Özet: Sütunlar araçlara gövde sağlamlığı sağladıkları için önemli parçalardandır. Fakat bu sütunlar camlar arasındaki sağlam ve opak parçalardır. Özellikle A-sütunu olarak da adlandırılan ilk sütun ile son sütun, taşıtların şase gücünü artırmak için mümkün olduğunca kalın tasarlanmıştır. Bu çalışma, aracın A-sütununun neden olduğu kör noktaya odaklanmaktadır. Biri diğerinin kör noktasında kalan iki araç arasındaki hız ilişkilerini belirlemek için sayısal bir analiz yapılmıştır. 9 farklı sürücü senaryosu verilmiştir. Bu senaryolar, sürücünün konumuna ve A-sütununun kesit uzunluğuna bağlıdır. Senaryoların sayısal analizine göre yol vermesi gereken araçlar, düşük hızlarda kavşağa gelmeden 1,62 saniye önce yol vermek zorunda olduğu aracın geçişini fark edebilmektedir. Hızın artmasıyla kavşağa ulaşmak için gereken süre önemli ölçüde azalır. Sonuç olarak, kavşaktaki bir kazayı analiz ederken A-sütununun tasarım değerlerinin de dikkate alınması gerektiği açıktır.

Anahtar Kelimeler: Trafik güvenliği, A-sütunu, kör nokta

* Corresponding author.

E-mail address: ekinhaneriskin@sdu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-0087-0933

Received 15.04.2022; accepted 21.11.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

Intersections are the important geometric parts of the transportation network. The traffic flow is in a strong position in planning the transport network. Especially the urban transport network area should be considered since many roads intersect with each other. Thus, many intersections get built.

Because of the joint points of the roads, intersections are critical geometric parts of the urban transportation network. Suppose no control mechanism is applied to these critical parts. Critical points (Khan et al., 2018) occur at the merger, junction and leaving sections of the roads connecting to the intersection. For a 3-link intersection, the number of these critical points is 9 for an uncontrolled intersection. In contrast, this number can increase to 32 and 79 for 4- and 5-link uncontrolled intersections (Özinal and Uz, 2021). As can be understood from these values, the number of critical points in uncontrolled intersections increases with the increment of the intersection link number. These points are called critical since accident possibilities get higher since two or more vehicles could get into contact.

Traffic accidents are unplanned and uncontrolled events because of people, situations, environmental factors, or combinations (Colling, 1990). Road traffic is one of the significant causes of property damage, health problems, permanent disabilities, and deaths. Thus, traffic accidents are considered a significant health problem globally. About 1.35 million deaths and between 20 and 50 million injuries occur yearly (Irtad, 2020). The daily death rate due to traffic accidents is 3,000 in the world. When the topic focuses on injuries, the count increases to about 30000 for around 240,000 cases yearly (Al Mamlook et al., 2019). These tremendous values and the passenger rate in traffic cause the need for a detailed passenger study (Kashani and Mohaymany, 2011).

According to the World Health Organization's (2018) data for 2016, about 1.35×10^6 deaths occurred due to traffic accidents worldwide. These traffic accidents affected all road users, including pedestrians, passengers, and drivers. Especially for people aged 15 to 29, traffic accidents are the leading cause worldwide. According to the National Highway Traffic Safety Administration's (2020) data for 2014 and 2018, about 400 thousand deaths and about 25 million injuries occurred because of about 32 million accidents.

Hakkert and Mahalel (1978) put forth how critical intersections are for traffic accidents. A statistical analysis of accidents in the USA has been performed based on the study. The results showed the importance of the intersections, where about 50% of all accidents occurred. Since that year, despite the developments in the vehicle and intersection technology, a recent study published by the General Directorate of Highways (KGM, 2020), which is about 40 years later, shows intersections still have a high accident rate. The KGM's report states that 37.7% of Turkey's traffic accidents occur at intersections. Recent studies (Yan and Shen, 2022) focus on the Traffic Attributes (such as latitude, longitude and distance), Temporal Attributes (such as month, day, hour, and weekday), Weather Attributes (such as pressure, temperature, humidity and visibility) and Point of Interests (such as traffic signal, junction, crossing and stop sign). However, the attribute of the pillars of the vehicles is out of interest.

This study highlights one of the reasons for traffic accidents at intersections. Generally, a vehicle approaching the intersection from the right has the right to drive. However, those approaching the intersection from the left should have noticed the approaching vehicle stop. However, the pillars of the vehicles block the view of the drivers. Especially when two vehicles are approaching the intersection one after the other, the second vehicle could stay in the blind spot. These situations are serious and could cause traffic accidents. This study focuses on two approaching vehicles at the same intersection. The vehicles' velocity and position conditions are analysed numerically to determine when the right-side approaching vehicle stays in the blind spot. So, this study highlights the importance of the pillars of the vehicles during crossing intersections which is very important but needs to be given the necessary attention during the accident analysis.

2. Pillars of the Vehicles

A typical vehicle has three or four pillars based on the vehicle's body. The pillar count is three for any sedan and hatchback vehicle, while the number increase to four for a station wagon vehicle. These pillars

are essential parts of the vehicles since they provide structural strength to the vehicle's body. However, they are opaque and solid parts that block the view of the drivers.



Figure 1. Pillars position of a typical vehicle (Source: Wikimedia.org)

As seen in Figure 1, the pillars are named alphabetically. The front pillar is called an A-pillar, where the letter turns into the next by going backwards on each pillar. This study focuses on the A-pillar since it is placed in front and blocks the front side view of the vehicles. It is assumed that these pillars are 10 cm in width for this study. An inner view of the test vehicle is shown in Figure 2.

As seen in Figure 2, the A-pillar of a typical vehicle blocks a significant amount of view. This blocking is fundamental while passing the uncontrolled intersections. The right and left pillars are built thick to provide safety; however, the view parameter should be considered to ensure traffic safety.

3. Theoretical Analysis

As explained in the previous section, the front pillars, A-pillars, block a significant amount of the side view. Because of these A-pillars, the driver could miss the vehicles approaching perpendicularly an x meters away from the vehicle's route (Figure 3).

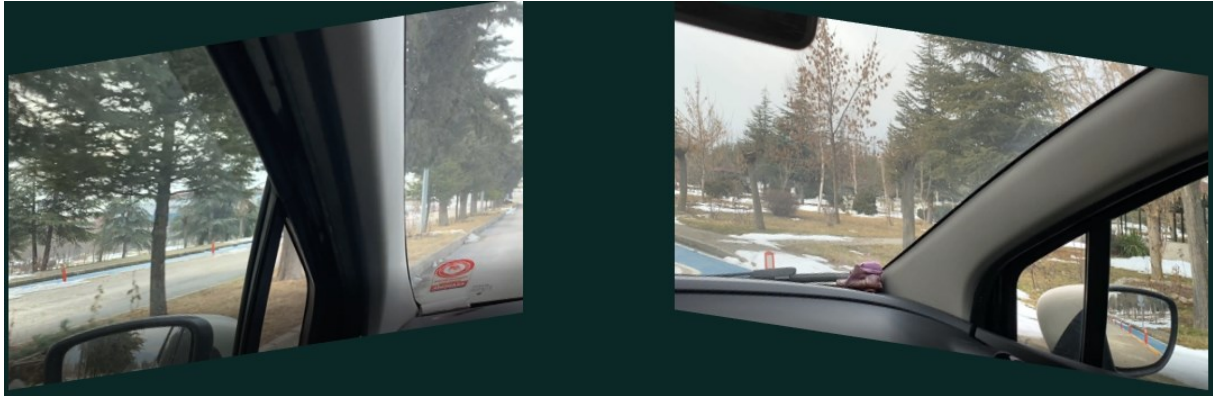


Figure 2. Inner view of a vehicle and A-pillars

Figure 3 shows two vehicles approaching the uncontrolled intersection where two roads intersect with the same priority. Both vehicles have four pillar body designs. The yellow area is the blind spot generated by the A-pillar of the vehicle. Both vehicles are driving from Position I to Position II. The vehicle (V1) driving south-north must give way to the vehicle (V2) driving in the east-west direction. However, the right-side A-pillar of the V1 is blocking the driver's view. Thus, V1 cannot notice the V2 until V2 gets too close to the intersection, which causes danger.

The red parts of the vehicles shown in Figure 3 are the pillar sections. One of the triangle yellow area corners is placed in the vehicle. This corner states for the driver's eyes. From this point, two lines are placed to cut the front and rear edges of the right-side A-pillar. When these two lines are extended, the blind spot area is determined. So, this area depends on the driver's position and the A-pillar dimension. V1 can notice the V2 if only the V2 is outside the blind spot area. So, determining whether V2 stays in the blind spot depends on the velocities, size of V2, and the distance to the intersection for both vehicles. This study focuses on two parts; first, to simulate the different blind spot areas formed, and second to determine the velocities and distances. The size has been determined as a 5 m long vehicle to simulate the V2 in 2-Dimensional by putting the cross corners in the blind spot area. The data given in Table 1 is used to simulate the blind spot area. Here the data given in Table 1 is randomly generated for a vehicle

with a width of 1.5 meters. In addition, the distance to the windshield is randomly generated for three different drivers.

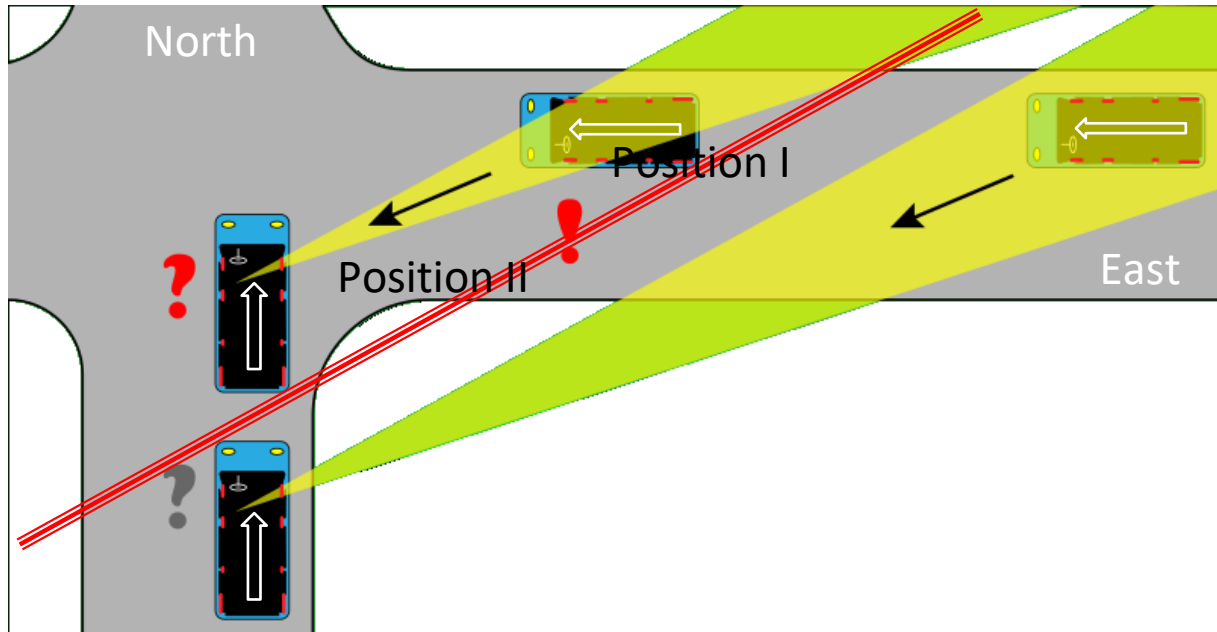


Figure 3. A schematic view of a sample intersection without a scale (Adopted from Wikimedia.org)

Table 1. Numerical simulation parameters

Simulation Number	Distance to (m)			Pillar section length (m)
	Left Window	Windshield	Right Window	
S1	0.3	0.55	1.2	0.1
S2	0.35	0.6	1.15	
S3	0.4	0.65	1.1	
S4	0.3	0.55	1.2	0.15
S5	0.35	0.6	1.15	
S6	0.4	0.65	1.1	
S7	0.3	0.55	1.2	0.2
S8	0.35	0.6	1.15	
S9	0.4	0.65	1.1	

Table 1 shows nine simulation scenarios based on the driver's eye position and the A-pillar dimension. When considering the driver and vehicle 2-dimensionally from a bird's eye view, the distance to the left and right window determines the driver's position on a horizontal axis. The total width of the vehicle is accepted as 1.5 m. Distance to the windshield is the space between the driver's eye and windshield on a vertical axis. The distance to the right window varies between 1.1 and 1.2 m, while the distance to the windshield varies between 0.55 and 0.65 m. Three A-pillar dimensions have been adopted for this study which is 0.1, 0.15 and 0.2 m.

Based on these scenarios, the following section determines different V2 approach velocities and the needed minimum V1 velocity values.

4. Results

This study investigates the driver's position and the A-pillar's dimension effect on the blind spot that occurred because of the A-pillar. The blind spot areas are shown in Figures 4, 5 and 6 for each pillar section length.

As seen in Figures 4, 5 and 6, the coloured areas are the blind spot areas for different scenarios in Table 1. The areas are overlapped, so the colours shown combine the given legend colours.

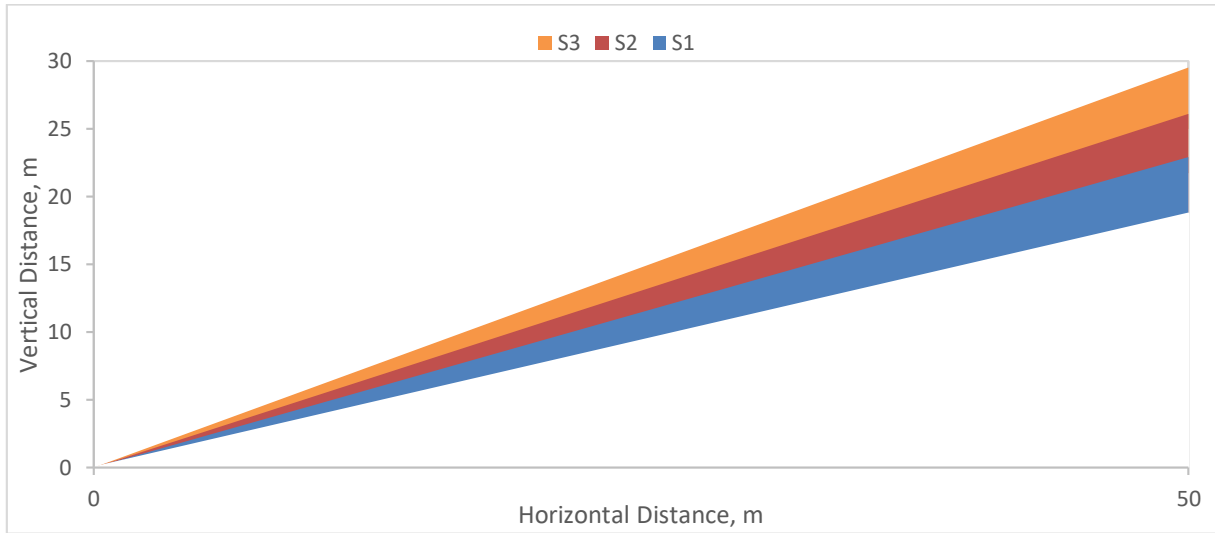


Figure 4. Blindspot areas for pillar section length of 0.1 m

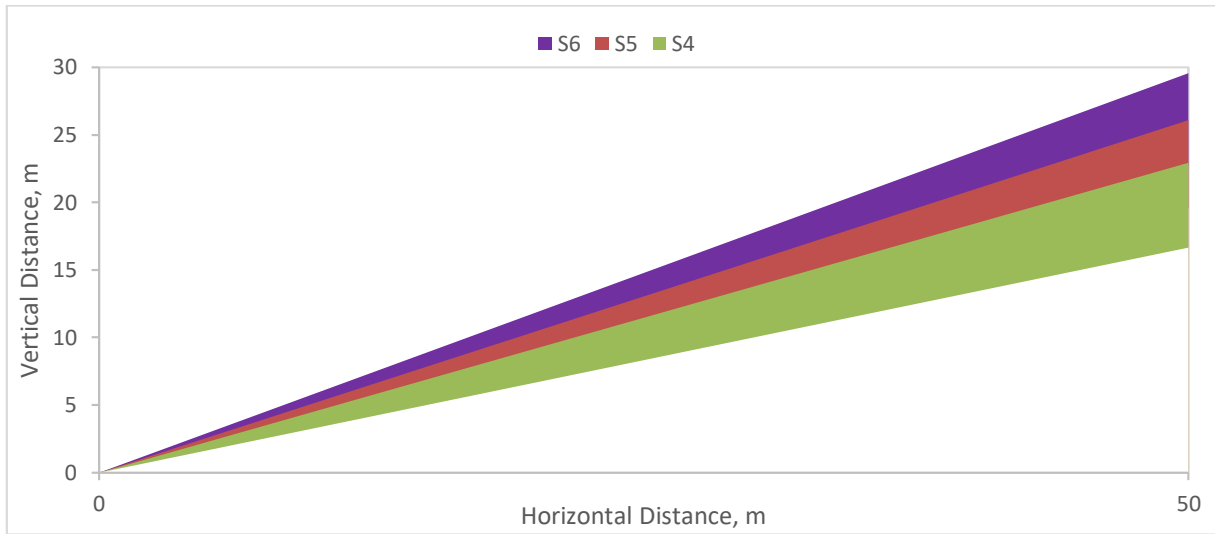


Figure 5. Blindspot areas for pillar section length of 0.15 m

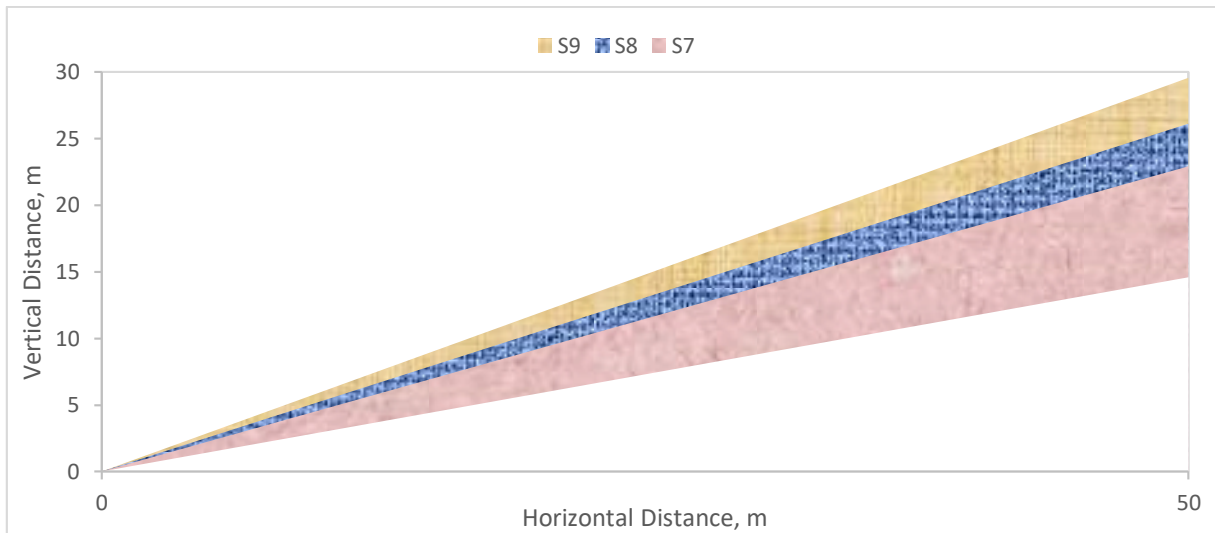


Figure 6. Blindspot areas for pillar section length of 0.2 m

The axis in Figures 4, 5 and 6 refer to the horizontal and vertical distances of two vehicles relative to each other. The blind spot area is growing with the increase of the A-pillar section length. With the pillar section length increase, the blind spot's bottom bounder increases about 4 meters for 50 meters in horizontal distance. Considering that V1 and V2 are 5 meters long, the minimum distance to the intersection has been calculated to investigate the velocity relations between V1 and V2. The minimum distances are given in Table 2. These distance values are calculated using Equation 1 (Figure 7). All these Equations are established using geometrical formulas.

$$X_H \times m_1 = (X_H + L_{V2}) \times m_2 \quad (1)$$

$$m_1 = \frac{d_C}{d_R} \quad (2)$$

$$m_2 = \frac{(d_C - l_P)}{d_R} \quad (3)$$

where X_H is the minimum distance of V2 to the intersection (m), L_{V2} is the V2 2-dimensional length (m), m_1 and m_2 are the slope values, and d_C , d_R and l_P are distance to the windshield, distance to the right window and A-pillar section length, respectively. When Equation 1 is simplified, the minimum distance of V2 to the intersection could be calculated using Equation 4.

$$X_H = \frac{L_{V2} \times m_2}{m_1 - m_2} \quad (4)$$

Once the X_H value is calculated, the minimum distance of V1 to the intersection can be determined using Equation 5. The results are given in Table 2.

$$X_V = \frac{X_H}{m_1} \quad (5)$$

The velocity relations could be calculated using the minimum distance data given in Table 2. Thus, a velocity for V2 is assumed. Next, the needed time to drive the distance has been calculated. Finally, the minimum velocity for V1 needed to avoid any accident has been obtained using this information. Equation 6 has been used to determine the relationship between the velocities.

$$V_{V1} = 3.6 \times \frac{X_V + L_{V1}}{\left(\frac{X_H}{0.278 \times V_{V2}}\right)} \quad (6)$$

Here V_{V1} and V_{V2} are the velocity values for V1 and V2, respectively (km/h). The other parameters are as defined before.

Table 2. Minimum distances

Scenario No	Distance to Intersection, m	
	V1	V2
S1	10.313	22.500
S2	13.043	25.000
S3	16.250	27.500
S4	6.111	13.333
S5	7.826	15.000
S6	9.848	16.667
S7	4.010	8.750
S8	5.217	10.000
S9	6.648	11.250

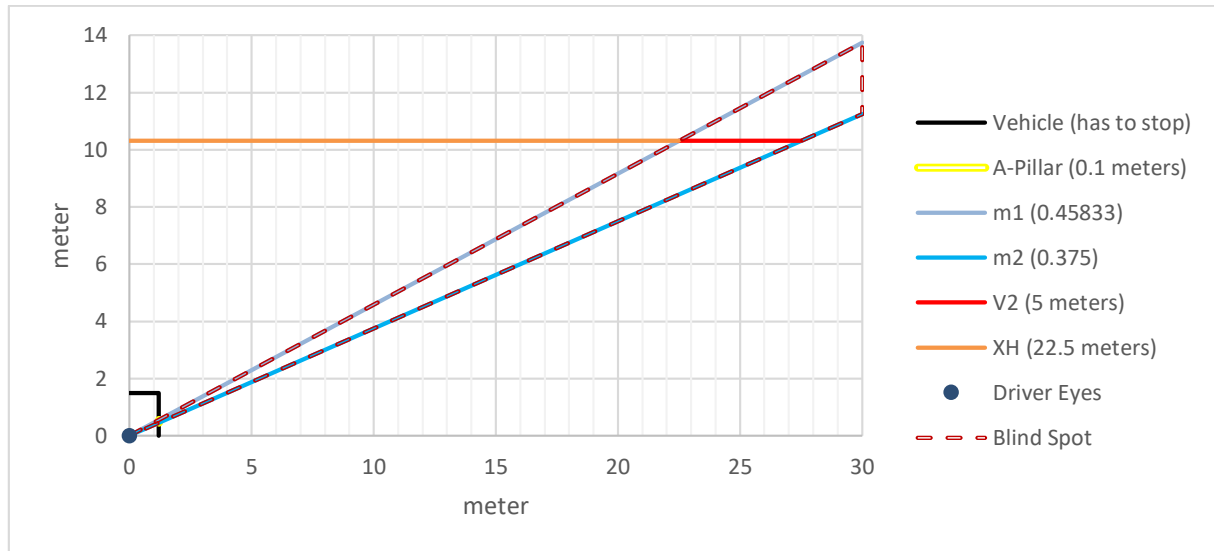


Figure 7. Visualisation of sample scenario (S1)

Table 3. Velocity relations for each scenario

Vehicle	Velocity, km/h							
V2	50	60	70	80	90	100	110	120
V1 for S1	34.028	40.833	47.639	54.444	61.250	68.056	74.861	81.667
V1 for S2	36.087	43.304	50.522	57.739	64.957	72.174	79.391	86.609
V1 for S3	38.636	46.364	54.091	61.818	69.545	77.273	85.000	92.727
V1 for S4	41.667	50.000	58.333	66.667	75.000	83.333	91.667	100.000
V1 for S5	42.754	51.304	59.855	68.406	76.957	85.507	94.058	102.609
V1 for S6	44.545	53.455	62.364	71.273	80.182	89.091	98.000	106.909
V1 for S7	51.488	61.786	72.083	82.381	92.679	102.976	113.274	123.571
V1 for S8	51.087	61.304	71.522	81.739	91.957	102.174	112.391	122.609
V1 for S9	51.768	62.121	72.475	82.828	93.182	103.535	113.889	124.242

As seen in Table 3, the minimum velocity value needed to avoid collision between the two vehicles where the one with the passing right stays in the blind spot varies. When the V2 drives with a velocity of 50 km/h, the V1 could drive with a minimum velocity of 34 km/h. However, with the growth of the blind spot area formed by the A-pillar, the minimum velocity also increases to about 52 km/h. There is potential collision when considering the intersection is in an urban area where the limit is 50 km/h. Readers should also note that as soon as vehicles notice each other, the time it takes to reach the intersection is approximately 1 second. Therefore, trying to stop would not work since 1 second is the response time duration. Thus, a thick-designed A-pillar could cause serious problems. Furthermore, the time to reach the intersection decreases with the number of vehicles.

5. Conclusion

This study investigated the velocity relations between vehicles approaching the same intersection in the same period, where one stays in a blind spot formed by A-pillar. Therefore, a numerical simulation has been prepared using a spreadsheet. The velocity values for the vehicle with the passing right have been assumed. After, the vehicle's velocity that does not see the ongoing vehicle with the passing rights has been calculated. As a result, the following conclusions could be drawn.

- The A-pillar of the vehicle is an essential part of ensuring body strength. However, too thick designed A-pillars cause serious blind spots. With an increase in the A-pillar section length, the blind spot area also grows simultaneously.
- The velocity value for the vehicle that does not see the ongoing vehicle with the passing rights differs based on the driver's position and pillar section length. For the conditions given in this study, the V1 velocity is 68.05% of the V2 velocity for the minor blind spot conditions. The V1 velocity increases to 103.54% of the V2 velocity for the worst blind spot condition. The V1 velocity value is always a rate of the V2 velocity value, no matter what.

The A-pillar's ergonomic design parameters could also be studied for future studies. This study focused on the minimum velocity values, avoiding possible collusion. However, the maximum velocity values could also be studied. Based on the findings of this study, A-pillar should be considered when investigating an accident at an intersection.

Conflict of Interest Statement

The author certify that NO affiliations with or involvement in any organisation or entity with any financial interest (such as honoraria; educational grants; participation in speakers' bureaus; membership, employment, consultancies, stock ownership, or other equity interest; and expert testimony or patent-licensing arrangements), or non-financial interest (such as personal or professional relationships, affiliations, knowledge or beliefs) in the subject matter or materials discussed in this manuscript.

References

- AlMamlook, R. E., Kwayu, K. M., Alkasisbeh, M. R., and Frefer, A. A.** (2019). Comparison of machine learning algorithms for predicting traffic accident severity. *In 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, 272-276.
- Colling, D. A.** (1990). *Industrial safety: management and technology*. Prentice Hall.
- Hakkert, S. and Mahalel, D.** (1978). Estimating the number of accidents at intersections from a knowledge of the traffic flows on the approaches. *Accident Analysis & Prevention*, 10, 1, 69-79.
- International Traffic Safety Data and Analysis Group (Irtad)**, (2020). *Road Safety Annual Report 2020*. International Transport Forum.
- Karayolları Genel Müdürlüğü**, (2020). Trafik kazaları özeti. [kgm.gov.tr, https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2017.pdf](https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2017.pdf) (Erişim tarihi: 3 Kasım 2020)
- Kashani, A.T. and Mohaymany, A.S.** (2011) Analysis of the traffic injury severity on two-lane, two-way rural roads based on classification tree models, *Safety Science*, 49(10), 1314–1320.
- Khan, M. A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., and Wets, G.** (2018). Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: A case study for shockwave identification and flow parameters estimation at signalised intersections. *Remote Sensing*, 10(3), 458.
- National Highway Traffic Safety Administration**, (2020). Fatality and Injury Reporting System Tool (FIRST), *United States Department of Transportation*. <https://cdan.dot.gov/query>
- Özinal, Y. and Uz, V. E.** (2021). Dönel Kavşak Geometrik Elemanlarının Kavşak Güvenliği Üzerine Etkisinin Literatür Işığında Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*. 24, 1, 283-297.

World Health Organization, (2018). *Global status report on road safety 2018: Summary (No. WHO/NMH/NVI/18.20)*. World Health Organization.

Yan, M., and Shen, Y. (2022). Traffic Accident Severity Prediction Based on Random Forest. *Sustainability*, 14(3), 1729.

Research Article

Investigation of traffic accidents in Şişli district with geographic information systemsMert Ersen^{1,*}, Ali Hakan Büyüklü², Semra Erpolat Taşabat³¹ Department of Statistics, 100/2000 YÖK Doctoral Scholarship Sustainable and Intelligent Transportation Sub-Department, Graduate School of Science and Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey² Department of Statistics, Faculty of Arts & Science, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey³ Department of Statistics, Faculty of Arts & Science, Mimar Sinan Fine Arts University, Istanbul, Turkey**Correspondence: mert_9034@hotmail.com***DOI: 10.51513/jitsa.1215470**

Abstract: Traffic accidents occurring are one of the most important issues that cause loss of life and property of the people. With the increasing population, the number of vehicles increasing in use creates traffic density. For this reason, studies aimed at reducing traffic accidents are of vital importance. In this study, a total of 3833 fatal and injured traffic accidents that occurred between 2010-2017 in Şişli district were analyzed with the help of geographical information systems and Kernel density method. In this study, various maps were created according to the accident type, time zone and the type of vehicles that had the most accident, and the locations of the accidents were examined. It is aimed to help reduce the number of possible accidents by taking necessary precautions in locations that are determined to be risky according to the accident intensities obtained. It has been observed that the accidents intensify differently according to the changing time zones, especially on the streets. In the study, it is also aimed to help the units that make traffic planning by making separator maps of the types of vehicles that have the most accidents on these streets, according to the accident types, days of the week and time zones.

Keywords: Traffic accidents, accident analysis, geographic information systems, Kernel density method

Şişli ilçesindeki trafik kazalarının coğrafi bilgi sistemleri ile incelenmesi

Özet: Trafik kazaları, insanların can ve mal kaybına neden olan en önemli konulardan biridir. Artan nüfusla birlikte kullanımı artan araç sayısı beraberinde trafik yoğunluğunu meydana getirmektedir. Bu nedenle trafik kazalarını azaltmaya yönelik çalışmalar hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada Şişli ilçesindeki 2010-2017 yılları arasında meydana gelmiş toplam 3833 ölümlü ve yaralanmalı trafik kazası coğrafi bilgi sistemleri ve çekirdek yoğunluk yöntemi yardımıyla analiz edilmiştir. Bu çalışma ile kaza türü, saat dilimi ve en çok kaza yapan araç türlerine göre çeşitli haritalar oluşturularak kazaların oluş lokasyonları incelenmiştir. Elde edilen kaza yoğunluklarına göre riskli olduğu tespit edilen lokasyonlarda gerekli önlemler alınarak olabilecek kaza sayılarının azaltılmasında yardımcı olmak amaçlanmıştır. Özellikle caddelerde değişen saat dilimlerine göre kazaların farklı olarak yoğunlaştığı görülmüştür. Çalışmada ayrıca bu caddelerde en çok kaza yapan araç cinslerinin kaza oluş türleri, haftanın günleri ve saat dilimlerine göre ayrıştırıcı haritaları yapılarak trafik planlaması yapan birimlere yardımcı olunması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Trafik kazaları, kaza analizi, coğrafi bilgi sistemleri, çekirdek yoğunluk yöntemi

* Corresponding author.

E-mail address: mert_9034@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-5643-4690, 0000-0002-4174-4538, 0000-0001-6845-8278 (in hierarchical order)

Received 06.12.2022; accepted 03.02.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

The fact that traffic accidents are not known in advance where and when they will occur makes it necessary for accident analysis studies to be based on statistical data. In today's world where science and technology are developing rapidly, the prevalence of the use of geographic information systems, which provide the management and presentation of map-based information, is increasing rapidly and its importance is better understood. The most important convenience brought by geographic information systems regarding traffic accidents is the easier detection of areas (black spots) where accidents occur frequently (Erdoğan et al., 2008). The determination of these points is done by "accident mapping". Making visual maps of accidents helps people who have never visited the relevant area before to have information about the subject. Spatial analysis of traffic accidents provides decision-makers with simple, understandable and guiding visual information at important accident points where traffic safety must be ensured (Kaygısız et al., 2012).

In a study conducted with spatial analysis, it is very important to determine the locations of the events under investigation and to reveal the relationship between these events (Ersen et al., 2021; Xie and Yan, 2008; Tuncuk, 2004). With the help of the results found as a result of the application of geographical information systems, which are a powerful technological tool, traffic accidents can be examined (Saplıoğlu and Karşahin, 2006; Söylemezoğlu, 2006; Özmal, 2016). Kernel density method is used to determine the places where the accident points are spatially dense and to evaluate the spatial clustering at these black points (Dereli and Erdoğan, 2017; Karaman, 2013).

Although the measures taken regarding traffic accidents are not the same everywhere, they do not lead to the same result everywhere (Bil et al., 2013). For this reason, in order to develop effective road safety measures to reduce traffic accidents, it is necessary to identify the areas where accidents are frequently experienced (black spots). It is extremely important to analyze the causes of similar accidents that occur in the same location in order to ensure the safety of people in traffic and to prevent accidents (Mohaymany et al., 2013).

In this study, in order to examine the fatal and injury traffic accidents, the Şişli district of Istanbul was taken into consideration and maps were prepared according to the accident type, time zone and the type of vehicle that had the most accidents. In the study, first of all, the Kernel density method map was given, with the occurrence types of the accidents in Şişli district added. With this map, the streets with the most traffic accidents in this district and the types of accidents were determined. Then, it is aimed to make a separate map of the types of accidents where the most accidents occur and to make solutions according to the causes of the accidents and the black points where they occur. Also, in order to obtain a planned transportation policy, accidents were analyzed according to time zones. In addition, the accidents made by the most accidental vehicle types are examined according to the types of accidents, days and time zones and it is aimed to help the units that will regulate traffic.

2. Materials and methods

In this study, temporal and spatial analyses of traffic accidents were performed with the help of the results obtained as a result of the application of geographic information systems technology. Kernel density method was used to determine the places where the accident points are spatially dense and to evaluate the spatial clustering at these black points.

2.1. Kernel density method

In the Kernel density method, a circular area is drawn around each point in the sample, not on each cell. A mathematical function is then applied that moves from 1 to 0 from the place where the point is located to the boundary of the circular field (Atalay and Say, 2022). In Figure 1, an example of the implementation of Kernel density estimation for a study area is given.

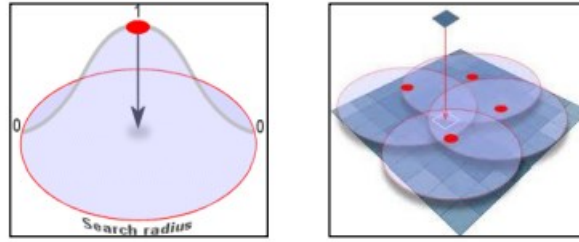


Figure 1. Kernel density estimation method (Atalay and Say, 2022).

The Kernel density estimation method is performed by weighting the accident intensities in a defined impact area. The accident intensity values in the cells in the entire study area are calculated by considering cells of a certain size in the study area. In this type of analysis, it is possible to analyse the accidents by giving weight points (Xie and Yan, 2013).

Kernel density is involved in spatial analysis studies within geographic information systems. This method gives illuminating information for the determination of hot spot or cold spot regions. Kernel density analysis refers to the density of the points falling into the circle with a defined radius and the point density that changes as they move away from this source (Thakali et al., 2015).

2.2. Kernel estimator

The series (x_1, x_2, \dots, x_n) is allowed to be an independent and uniformly distributed sample of n observations from a population X whose probability distribution function $f(x)$ is unknown. The Kernel estimate of the original $f(x)$ $\hat{f}(x)$ assigns to each i 'th sample data point a function $K(x, t)$, called the Kernel function. Its mathematical representation is given in equation 1 (Atalay and Say, 2022).

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(x_i, t) \quad (1)$$

$K(x, t)$ is not negative and is bounded for all x and t : $0 \leq K(x, t) < \infty$ for all real x, t and for all real x as shown in equation 2 (Atalay and Say, 2022).

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(x, t) dt = 1 \quad (2)$$

Equation (3) normalizes the Kernel density estimate to Equation (2):

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(t) dt &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} K(x_i, t) dt = 1 \quad K(t) \\ &= f(x) \\ &= \begin{cases} \frac{15}{16} & \text{for } |t| < 1 \\ 0 & \text{for } |t| > 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

In other words, the Kernel transforms the "sharp" (point) position of x_i into an interval (symmetrically or unsymmetrically) centered around x_i . This transformation is given in equation 3. The formula used to determine the search radius, also known as the bandwidth, is explained in equation 4 (Atalay and Say, 2022):

$$h = 0.9 * \min\left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m}\right) n^{-2} \quad (4)$$

In equation (4); h is bandwidth, D_m is weighted average; is the weighted median distance from the center. Also, n is the number of points when the population field is not used or a population field is provided, and n is the sum of the population field values. SD is the standard distance (Atalay and Say, 2022).

The smaller of the $\left(\sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m}\right)$ value in the equation and the SD value is used.

$$SD_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{\sum_{i=1}^n w_i (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n w_i} + \frac{\sum_{i=1}^n w_i (Z_i - \bar{Z})^2}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (5)$$

In equation (5), w_i is the weight in the feature i . $\{x_w, y_w, z_w\}$ represents the weighted average center (Atalay and Say, 2022).

In this study, accident point map was produced on a digital map by using accident location information. With the help of spatial analysis tools in ArcGIS/ArcMap software, Kernel density method analysis was applied and the sections where the accidents were intense were determined.

3. Results

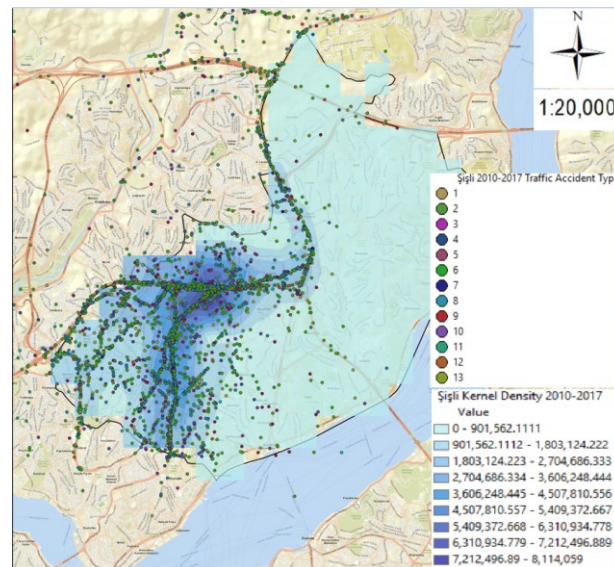
In this study, Şişli district, which is known to have a high number of fatal and injury accidents, was examined with the help of geographic information systems and Kernel density method. It is aimed to offer solutions to the points where the accidents are intense by creating separation maps according to the accident type, time zone and the type of vehicle that has the most accidents. In addition, it has been tried to help the traffic problem for Şişli to some extent by creating separator maps according to the accident type, days of the week and time zone for the types of vehicles that have the most accidents. The variables used in this study are given in Table 1.

Table 1. Variables used in accident data

Variable Name	Coding	Value Names
Accident Day	AD	AD1 (Monday), AD2 (Tuesday), AD3 (Wednesday), AD4 (Thursday), AD5 (Friday), AD6 (Saturday), AD7 (Sunday)
		ATZ1 (00:00-04:00), ATZ2 (04:00-08:00), ATZ3 (08:00-12:00), ATZ4 (12:00-16:00), ATZ5 (16:00-20:00), ATZ6 (20:00-24:00)
Accident Time Zone	ATZ	

Table 1 (continued). Variables used in accident data

Accident Type	AT	AT1 (Head on collision), AT2 (Rear impact collision), AT3 (side impact collision), AT4 (side to side collision), AT5 (hitting a stationary vehicle), AT6 (multiple vehicle collision), AT7 (multiple hitting), AT8 (hitting fixed objects), AT9 (hitting pedestrian), AT10 (animal impact), AT11 (vehicle's rolling over), AT12 (run off road), AT13 (falls from vehicles)
Vehicle Type	VT	VT1 (bicycle), VT2 (moped), VT3 (motorcycle), VT4 (automobile), VT5 (minibus), VT6 (pickup truck), VT7 (truck), VT8 (towing vehicle), VT9 (bus), VT10 (tractor), VT11 (land vehicle), VT12 (special purpose vehicles), VT13 (heavy duty vehicles), VT14 (ambulance), VT15 (tanker), VT16 (tram), VT17 (other)

**Figure 2.** Kernel density method map of traffic accidents occurred in Şişli district.

In Figure 2, when the types of accidents for all accidents between 2010 and 2017 in Şişli district were added and the Kernel density method map was examined, it was seen that the streets where the accidents were high were Büyükdere, Halaskargazi and Cumhuriyet streets. When we examine these accidents according to the types of accidents, it is seen that the most accidents are in the form of side-impact collisions, followed by hitting pedestrian and rear impact collisions. Where side impact collision, pedestrian collision and rear impact collision are more common, are analyzed with detailed

maps made in Figure 3, Figure 4 and Figure 5. The meaning of the accident type label values in these accidents is the label values between 1 and 13 in Table 1.

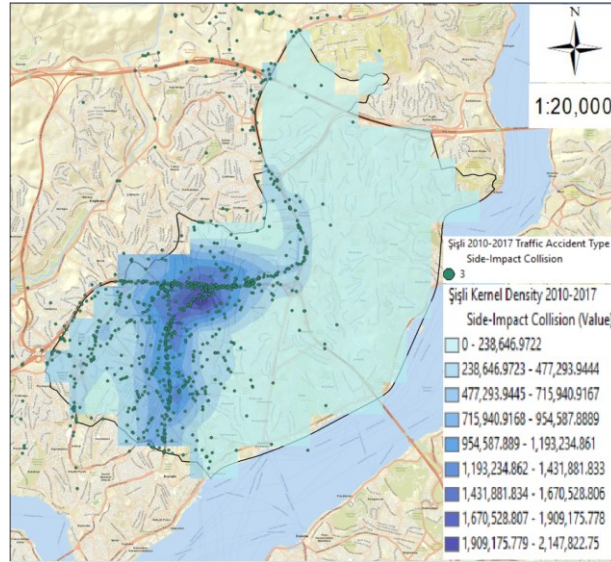


Figure 3. Kernel density method map of traffic accidents in the form of side-impact collision in Şişli district.

In Figure 3, the Kernel density method map of the accidents in the form of a side impact collision in Şişli district is given. It has been observed that the accidents that occur in the form of side impacts are mostly on Cumhuriyet and Büyükdere streets. It has been concluded that accidents in the form of side-impact collisions are high in areas where there are event areas such as congress and theater on Cumhuriyet Street. On the other hand, Büyükdere Street is a region that is heavily used by large masses due to its business centers, shopping malls and public transportation transfer areas. For this reason, it has been found that accidents in the form of side collisions are high, especially in the region where there is heavy vehicle traffic, especially in the area of the Ortaklar junction.

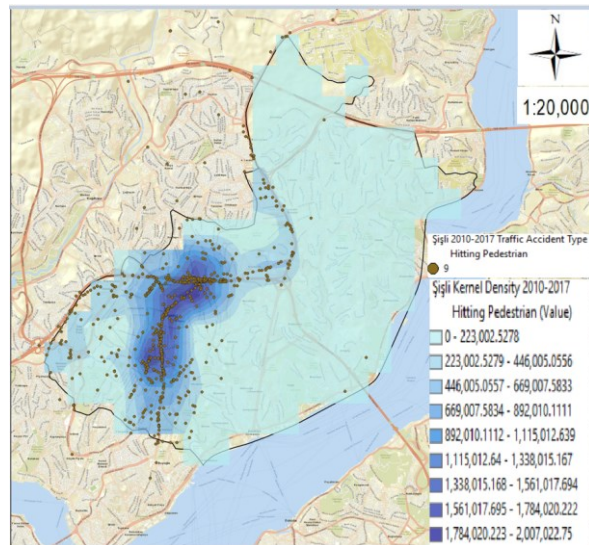


Figure 4. Kernel density method map of traffic accidents in the form of hitting pedestrian in Şişli district.

In Figure 4, the Kernel density method map of the pedestrian crashes in Şişli district is given. It has been observed that most of the accidents that occur in the form of hitting the pedestrian are on Halaskargazi Street. It is thought that the pedestrian lines on the streets leading to Şişli Hamidiye Etfal

Training and Research Hospital on Halaskargazi Street are faulty and this situation causes a high number of pedestrian crashes.

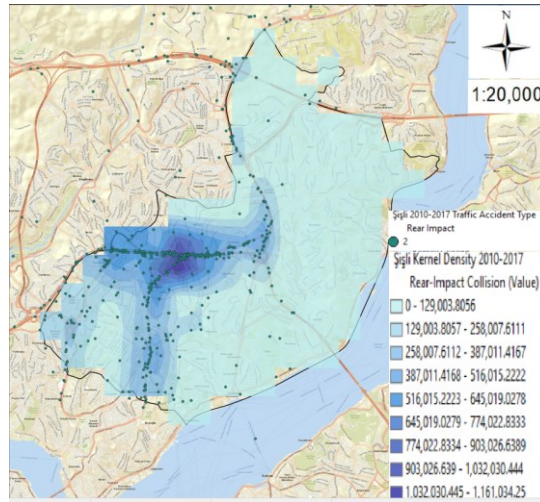


Figure 5. Kernel density method map of traffic accidents in the form of rear impact collision in Şişli district.

In Figure 5, the Kernel density method map of accidents in the form of a rear impact collision in Şişli district is given. It has been observed that most of the accidents in the form of rear impact collisions occur on Cumhuriyet Street. It has been found that accidents in the form of rear impact collisions are high in this region, especially at the points where the activity areas are high.

By adding the accident types given in Table 1 to the Kernel density method maps (Figure 6, Figure 7, Figure 8, Figure 9, Figure 10 and Figure 11) obtained according to time periods, it has been tried to determine which types of accidents are more common in the places where the accidents are concentrated according to the time periods. The label color representations of accident types have been changed in some time periods because of the fact that the colors cannot be seen clearly due to the differences in the locations where the accidents occur.

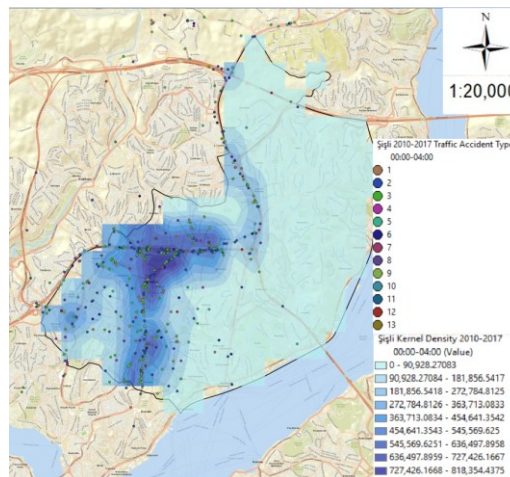


Figure 6. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 00:00-04:00 time zones in Şişli district.

In Figure 6, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 00:00-04:00 time zones in Şişli district is given. It was observed that the accidents that occurred between 00:00-04:00 were concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Center, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet and Darülaceze streets. In the accidents that occurred between 00:00 and 04:00, it was concluded that the accidents in the form of a side impact collision in

Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Center, Büyükdere and Cumhuriyet streets, hitting fixed objects in Sıracevizler Street and hitting a stationary vehicle on Cendere Street were high. On the other hand, in the accidents between 00:00 and 04:00, it was observed that there were equally most accidents in the form of side impact collision and hitting fixed objects on Piyalepaşa Boulevard. On Darülaceze Street, it was seen that there were more accidents in the form of a side impact collision, hitting a stationary vehicle, hitting fixed objects and hitting pedestrian.

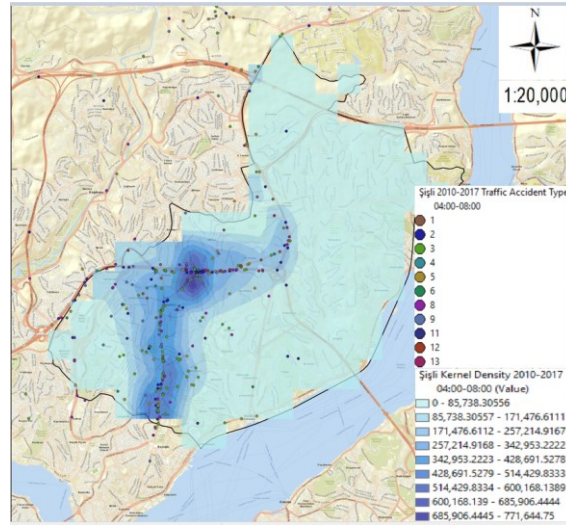


Figure 7. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 04:00-08:00 time zones in Şişli district.

In Figure 7, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 04:00-08:00 time zones in Şişli district is given. It has been observed that there are no accidents in the form of multiple collisions and animal strikes between 04:00 and 08:00, and the accidents are concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Piyalepaşa Boulevard, Tem Connection Road, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet and Darülaceze streets. It has been observed that accidents such as side collisions on Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Ayazağa, Büyükdere and Cumhuriyet streets, hitting fixed objects and hitting a vehicle on Piyalepaşa Boulevard are more common. Accidents occurred to the vehicle standing on the TEM Connection Road and the pedestrian crash on the Darülaceze Street. In addition, it was observed that side collisions and collisions with a stationary vehicle were equally common on Cendere Street.

In Figure 8, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 08:00-12:00 time zones in Şişli district is given. It was found that the accidents that occurred between 08:00-12:00 were concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Mecidiyeköy Road, Piyalepaşa Boulevard, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu, Dolapdere and Ergenekon streets. In accidents between 08:00-12:00, hitting pedestrian on Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Darülaceze and Ergenekon streets, side impact collision on Kadırgalar, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Dereboyu and Dolapdere streets, rear impact collision on Piyalepaşa Boulevard and it has been found that accidents in the form of multiple hitting are high in Governor's Mansion Street.

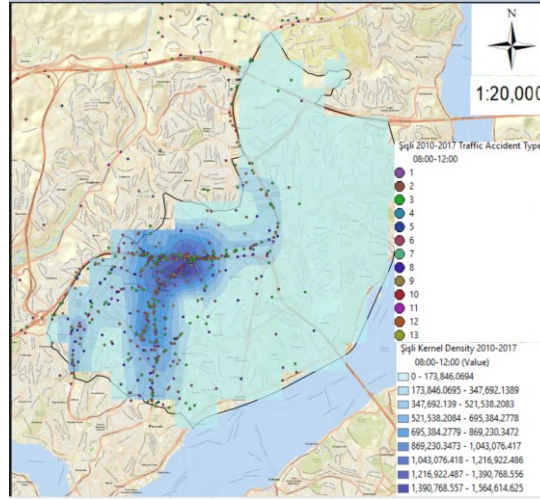


Figure 8. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 08:00-12:00 time zones in Şişli district.

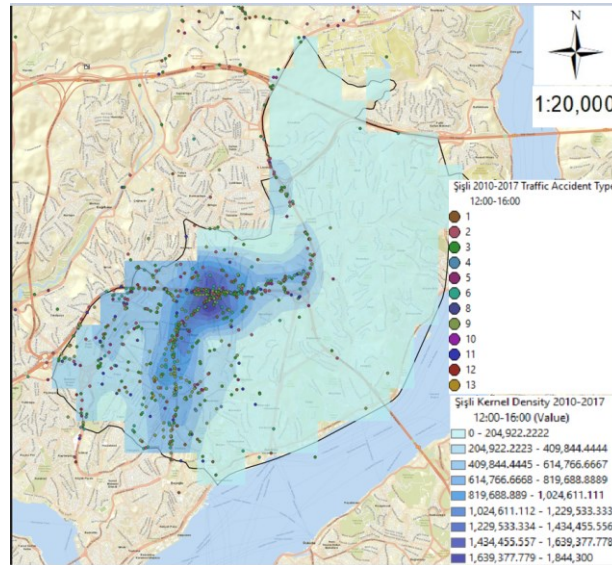


Figure 9. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 12:00-16:00 time zones in Şişli district.

In Figure 9, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 12:00-16:00 time zones in Şişli district is given. It was seen that there were no accidents in the form of multiple hitting's in the accidents between these hours. It has been concluded that the accidents between 12:00- 16:00 are concentrated on Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet and Darülaceze streets. In the accidents that took place between 12:00-16:00, it was seen that there were more accidents such as hitting pedestrian in Halaskargazi, Abidei Hürriyet and Center streets, side impact collision on Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet and Darülaceze streets, multiple vehicle collision on Ortaklar Street and run off road on Piyalepaşa Boulevard. In addition, between 12:00-16:00, it was found that there were more accidents in the form of side impact collision, multiple vehicle collision and hitting pedestrian equally in Kurtuluş Street and in the form of rear impact and hitting pedestrian equally on Mecidiyeköy Road Street.

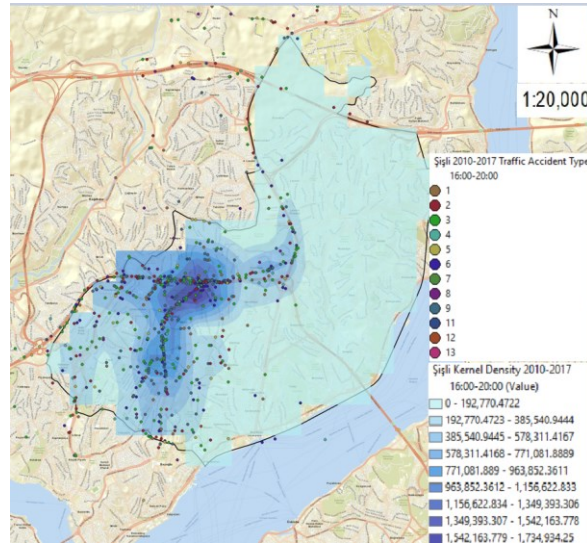


Figure 10. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 16:00-20:00 time zones in Şişli district.

In Figure 10, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 16:00-20:00 time zones in Şişli district is given. It was seen that there were no accidents in the form of animal impact in the accidents between these hours. It was observed that the accidents between 16:00-20:00 were concentrated in Hakkıyeten, Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu and Ergenekon streets. In the accidents that took place between 16:00-20:00, it was seen that there were more accidents in the form of hitting pedestrian in Halaskargazi, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center and Büyükdere streets, in the form of side impact collision in Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Piyalepaşa Boulevard, Governor's Mansion, Ayazağa, Darülaceze and Dereboyu streets and in the form of multiple vehicle collision on Cumhuriyet Street. In addition, between 16:00-20:00, it was observed that there were more accidents in the form of head on collision and rear impact collision equally on Hakkıyeten Street, side impact collision and multiple vehicle collision equally on Ortaklar Street and side impact collision and hitting pedestrian equally on Ergenekon Street.

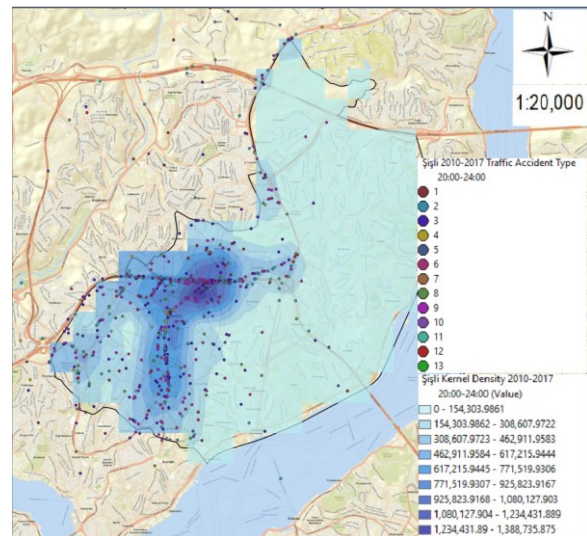


Figure 11. Kernel density method map of traffic accidents occurred between 20:00-24:00 time zones in Şişli district.

In Figure 11, Kernel density method map of traffic accidents occurred between 20:00-24:00 time zones in Şişli district is given. It was concluded that the accidents between 20:00-24:00 were

concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Hasret, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Martyr Ertuğrul Kabataş, Talatpaşa, Taşkışla, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu and Dolapdere streets. In the accidents that occurred between 20:00-24:00, it was found that there were more accidents in the form of side impact collision in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Ortaklar, Martyr Ertuğrul Kabataş and Dereboyu streets, in the form of hitting pedestrian in Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Taşkışla, Büyükdere and Darülaceze streets, in the form of rear impact collision in Hasret and Piyalepaşa Boulevard streets and multiple vehicle collision in Cumhuriyet Street. In addition, between 20:00- 24:00, it was observed that there were more accidents in the form of head on collision, rear impact collision and hitting pedestrian equally on Talatpaşa Street and head on collision and side impact collision equally on Dolapdere Street.

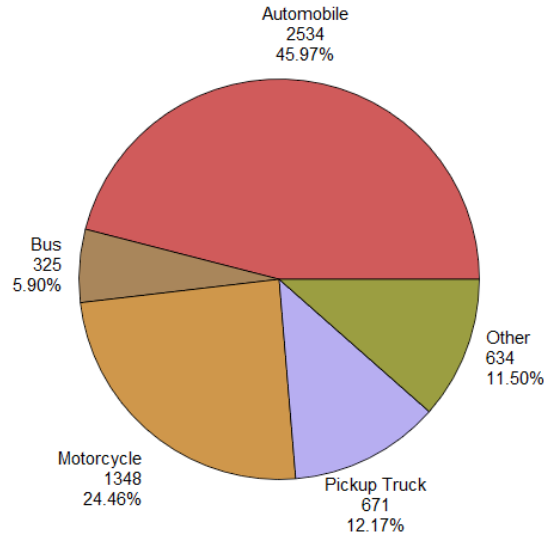


Figure 12. Pie chart of traffic accidents in Şişli district by vehicle type.

In Figure 12, the pie chart of traffic accidents in Şişli district is given according to the type of vehicle. When we interpret the 3833 fatal and injured traffic accidents that occurred between 2010-2017 in Şişli district according to the type of vehicle, it was found that the highest number of accidents was made by automobile vehicles with 2534 accidents, followed by motorcycle accidents with 1348 accidents. On the other hand, it has been observed that most of the accidents in Şişli district are caused by motorcycles, automobiles, pickup trucks and buses.

For this reason, accidents caused by these vehicles have been tried to be analyzed with separate maps made according to accident types, days and time zones in order to create a planned transportation policy.

First of all, in Figure 13, Figure 14 and Figure 15, Kernel density method maps of accidents with motorcycle vehicles are given according to the types of accidents, days and time zones. The label values for accident types, days, and time zones are given in Table 1.

In Figure 13, Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district is given. It was found that the accidents caused by motorcycles were concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Talatpaşa, Tem Link Road, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu and Dolapdere streets. Motorcycles; Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Mecidiyeköy Road, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Talatpaşa, Tem Link Road, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze Dereboyu and Dolapdere streets in the form of side impact collision, in the form of hitting pedestrian on the Center Street and in the form of side impact collision and in the form of hitting pedestrian on Kurtuluş Street were observed to have the highest number of accidents.

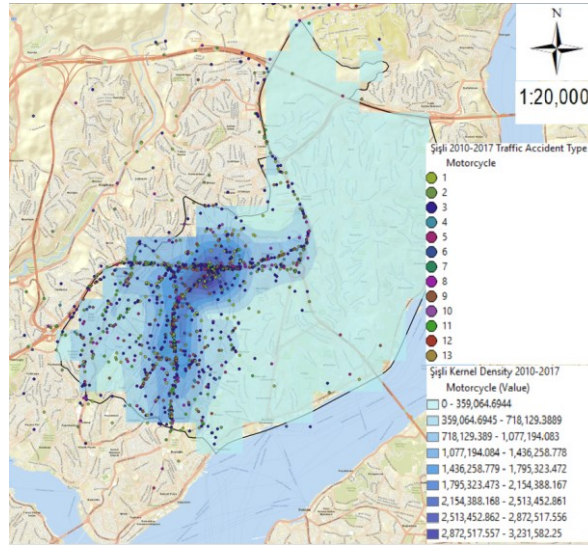


Figure 13. Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district.

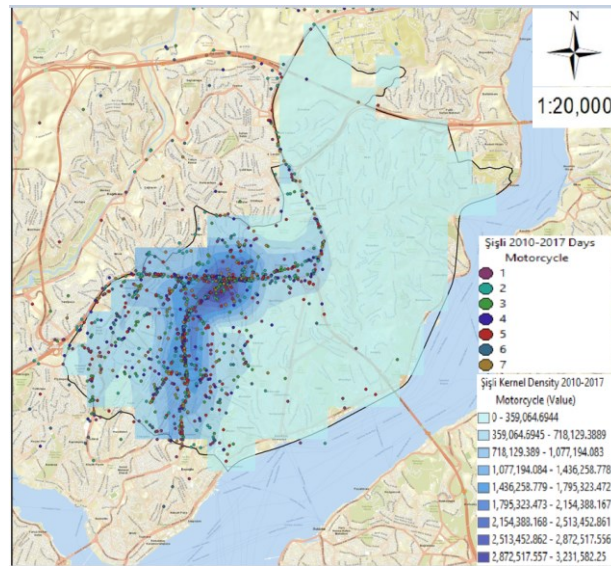


Figure 14. Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district.

In Figure 14, Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district is given. With this map, the accidents made by motorcycles in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Talatpaşa, Tem Link Road, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu and Dolapdere streets were examined according to the days. On these streets, it was observed that the most accidents by motorcycle vehicle occurred on Tuesday and the least accidents occurred on Saturday.

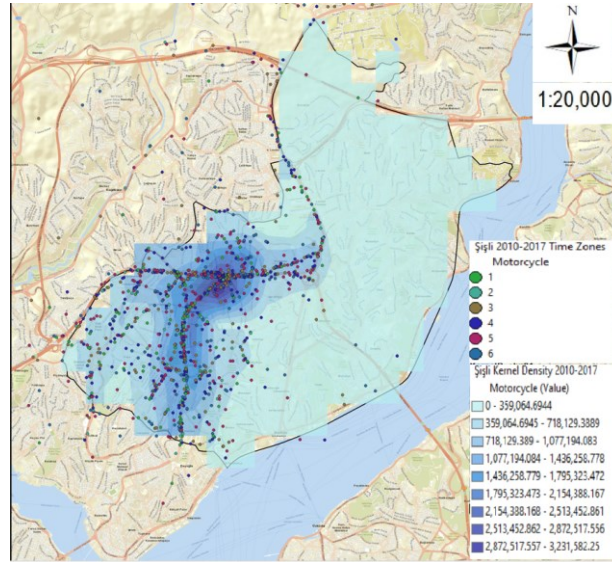


Figure 15. Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district.

In Figure 15, Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with motorcycle vehicles in Şişli district is given. With this map, the accidents made by motorcycles in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sracevizler, Talatpaşa, Tem Link Road, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze, Dereboyu and Dolapdere streets were examined according to time zones. It was found that the most accidents with motorcycle vehicles on these streets were between 16:00-20:00, followed by accidents between 12:00- 16:00. It is understood that the accidents with motorcycles occurred between 04:00-08:00 at least.

In Figure 16, Figure 17 and Figure 18, Kernel density method maps of accidents with automobile vehicles are given according to the types of accidents, days and time zones. The label values for accident types, days, and time zones are given in Table 1.

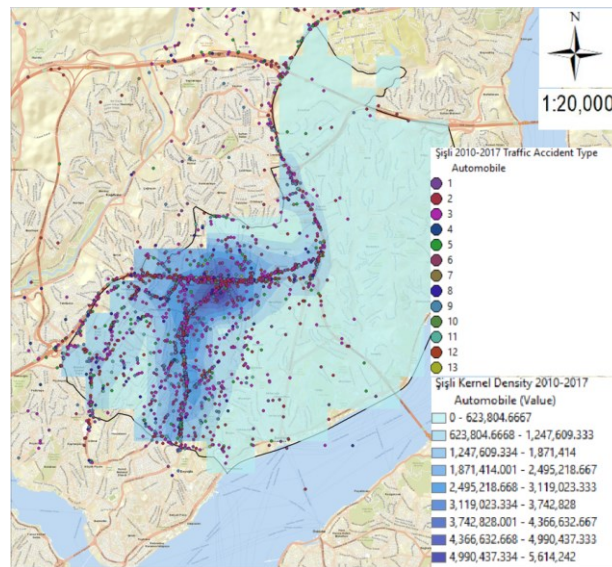


Figure 16. Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district.

In Figure 16, Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district is given. It was concluded that the accidents caused by the

automobiles were concentrated in Galata Creek, Hakkıyeten, Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets. It has been observed that cars mostly crash on these streets in the form of side impact collisions.

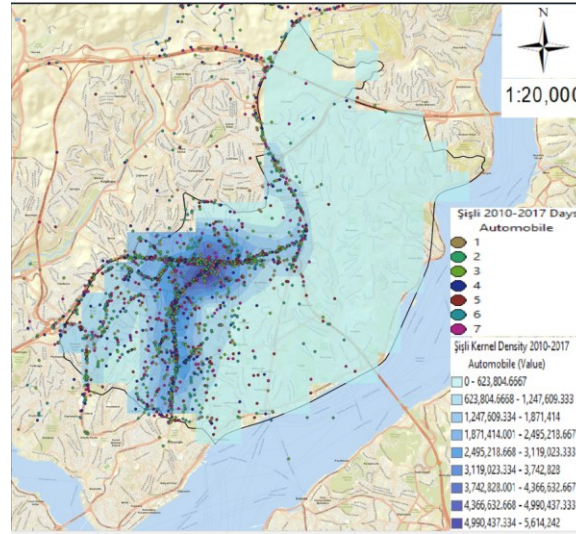


Figure 17. Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district.

In Figure 17, Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district is given. With this map obtained, the accidents made by cars in Galata Creek, Hakkıyeten, Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets were examined according to the days. It has been observed that accidents with automobile vehicles are more common on weekends on these streets.

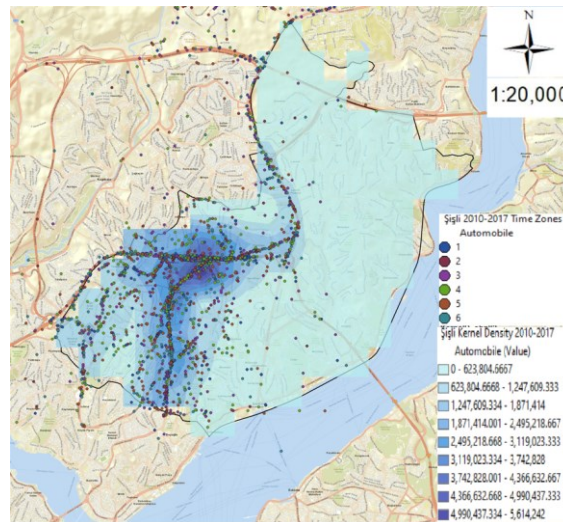


Figure 18. Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district.

In Figure 18, Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with automobile vehicles in Şişli district is given. With this map obtained, the accidents made by the cars in Galata Creek, Hakkıyeten, Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kadırgalar, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road,

Center, Ortaklar, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets were examined according to time zones. It was observed that the accidents with the automobile vehicle on these streets occurred most between 12:00-16:00, followed by the accidents that occurred between 16:00-20:00. It was observed that the time zone with the least number of accidents with automobile vehicles was between 04:00-08:00.

In Figure 19, Figure 20 and Figure 21, Kernel density method maps of accidents with pickup truck vehicles are given according to the types of accidents, days and time zones. The label values for accident types, days, and time zones are given in Table 1.

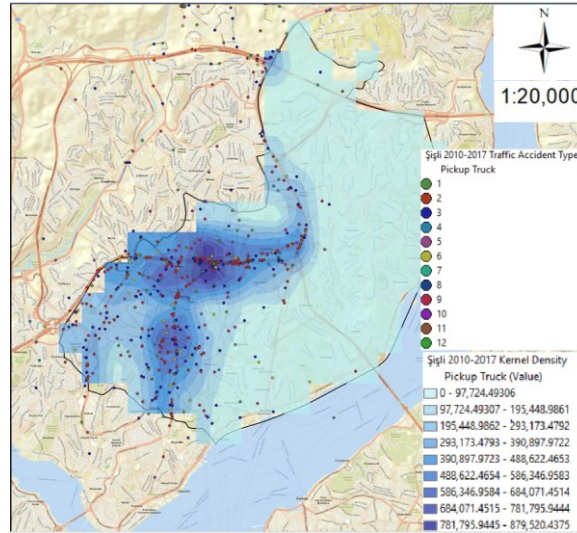


Figure 19. Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district.

In Figure 19, Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district is given. Since only 12 types of accidents occur in accidents involving pickup truck, the ArcGIS software has given a color representation of the first 12 types of accidents in Table 1. It was seen that the accidents caused by the pickup truck were concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets. Pickup trucks; It has been observed that there are more accidents in the form of hitting pedestrian in Halaskargazi, Mecidiyeköy Road streets, in the form of side impact collision in Piyalepaşa Boulevard, Governor's Mansion, Ayazağa, Cendere and Dereboyu streets, and in the form of rear impact collision in Büyükdere and Cumhuriyet streets. In addition, it was found that the pickup trucks had the most accidents in the form of multiple vehicle collision and hitting pedestrian on Abidei Hürriyet Street, in the form of side impact collision and hitting pedestrian in Sıracevizler Street, in the form of rear impact collision and side impact collision on Tem Link Road and in the form of side impact collision and hitting pedestrian on Darülaceze Street.

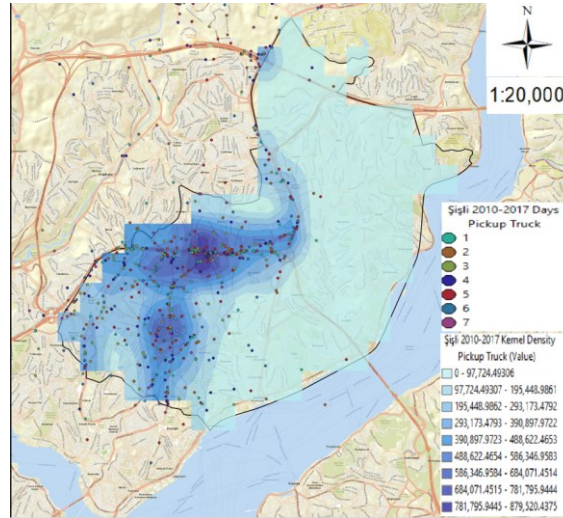


Figure 20. Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district.

In Figure 20, Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district is given. With this map obtained, the accidents made by the pickup trucks in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets were examined according to the days. It was found that the most accidents with pickup trucks on these streets occurred on Thursday, followed by accidents that occurred on Friday. It is understood that the accidents with the pickup truck occurred at least on Sunday.

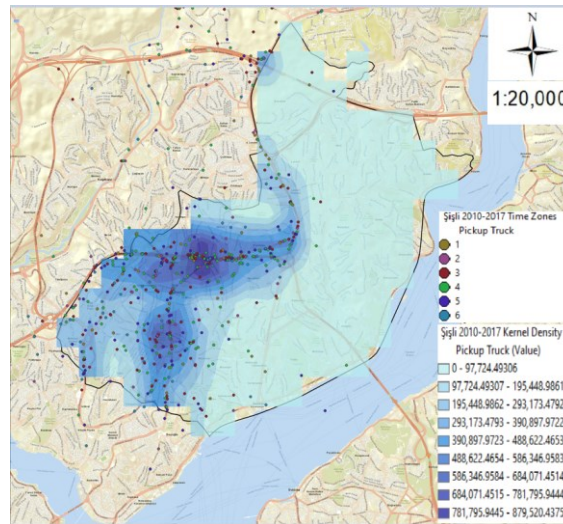


Figure 21. Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district.

In Figure 21, Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with pickup truck vehicles in Şişli district is given. With this map obtained, the accidents made by the pickup trucks in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Piyalepaşa Boulevard, Sıracevizler, Tem Link Road, Governor's Mansion, Ayazağa, Büyükdere, Cendere, Cumhuriyet, Darülaceze and Dereboyu streets were examined according to time zones. It was found that accidents with pickup trucks on these streets occurred most often between 12:00-16:00, followed by accidents

that occurred between 08:00-12:00. It is understood that the accidents with the pickup truck occurred between 04:00-08:00 at least.

In Figure 22, Figure 23 and Figure 24, Kernel density method maps of accidents with bus vehicles are given according to the types of accidents, days and time zones. The label values for accident types, days, and time zones are given in Table 1.

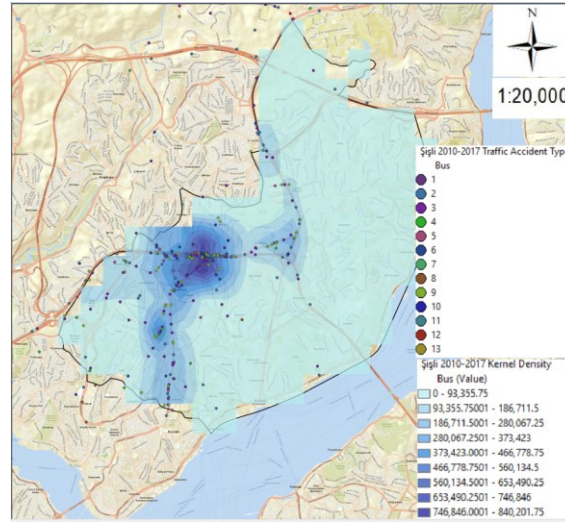


Figure 22. Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district.

In Figure 22, Kernel density method map with added types of accidents of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district is given. It was observed that the accidents caused by the buses were concentrated in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Piyalepaşa Boulevard, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze and Ergenekon streets. Buses; It was concluded that they had the most accidents in the form of side impact collision in Halaskargazi, Center and Ayazağa streets, in the form of hitting pedestrian in Abidei Hürriyet, Mecidiyeköy Road, Darülaceze and Ergenekon streets, and in the form of rear impact collisions in Büyükdere and Cumhuriyet streets. In addition, it was seen that accidents with buses occurred the most in the form of side impact collision and multiple vehicle collision on Kurtuluş Street and side to side collision and hitting a stationary vehicle on Piyalepaşa Boulevard.

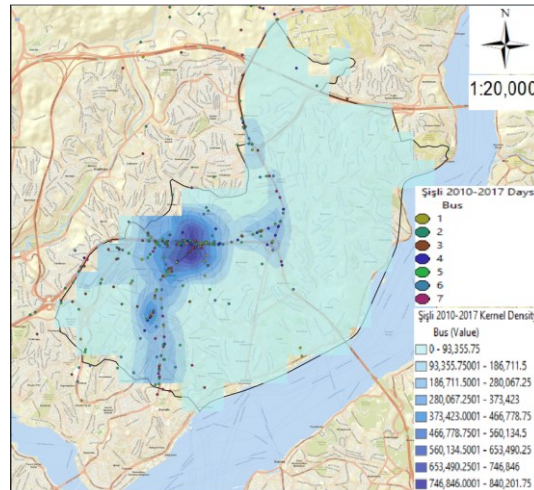


Figure 23. Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district.

In Figure 23, Kernel density method map with added days of the week of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district is given. With this map, the accidents made by buses in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Piyalepaşa Boulevard, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze and Ergenekon streets were examined according to the days. It was found that the most accidents with bus vehicles on these streets occurred on Tuesday. It is understood that the accidents by bus occurred at least on Sunday.

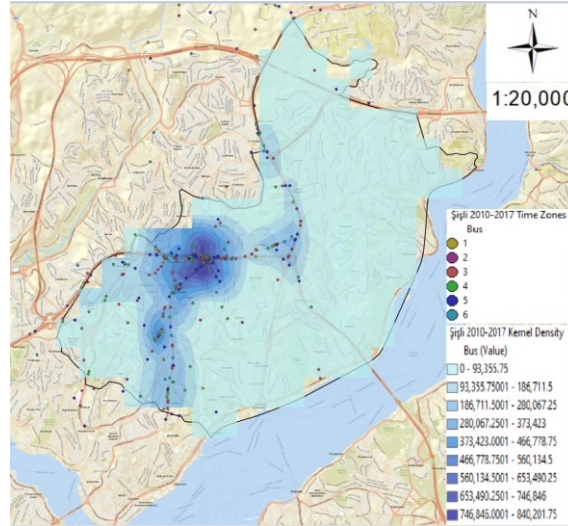


Figure 24. Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district.

In Figure 24, Kernel density method map with added time zones of traffic accidents occurred with bus vehicles in Şişli district is given. With this map obtained, the accidents made by buses in Halaskargazi, Abidei Hürriyet, Kurtuluş, Mecidiyeköy Road, Center, Piyalepaşa Boulevard, Ayazağa, Büyükdere, Cumhuriyet, Darülaceze and Ergenekon streets were examined according to time zones. It was observed that the accidents made by bus vehicles on these streets were most common between 08:00-12:00, followed by accidents that occurred between 16:00-20:00. It is understood that the accidents with the bus occurred between 00:00-04:00 at least.

4. Discussion and conclusion

Factors such as the advancement of technology and the rapid increase in the world population cause the urban traffic to be negatively affected. With the increase in traffic, the problems in this regard increase rapidly. Traffic accidents and traffic safety are among these problems.

Accidents that cause a large number of deaths and injuries in our country generally occur more frequently at some critical points. It is of great importance to identify these critical points and to develop systems for them.

Especially in metropolitan cities, with the population and the number of vehicles increasing day by day, the lack of development of solution systems for this cause traffic accidents, which are one of the most serious problems of today (Camkesen and Bayrakdar, 1999; Khokale and Ghate, 2017). It has been seen that the use of visual data methods in solving these problems will benefit the relevant authorities in reducing future traffic accidents (Ersen et al., 2022; Feng et al., 2019).

In order to ensure the safety of people in traffic and to minimize the accidents that will occur, it is of great importance to determine the real causes of accidents in similar locations. During the determination of these procedures, the determination of the accident points where death and injury occurred on the map was made with geographical information systems and it was facilitated to visually perceive the results needed.

In addition to traditional methods and techniques, it is possible to reduce traffic accidents and create safe management strategies by using geographic information systems method in analyzing and interpreting big data based on traffic accidents (Lin et al., 2014).

This study has shown that making discriminatory maps by investigating the causes of the most accidents in the studies on geographic information systems gives more accurate results in helping to prevent accidents. It is thought that the results obtained with the discriminatory maps will guide the teams trying to reduce traffic accidents more accurately. For example, on Halaskargazi Street, where pedestrian collision accidents occur the most, faulty pedestrian lines need to be corrected. On the other hand, although there are signalized intersections on this street, it is thought that vehicles and pedestrians do not comply with the signaling rules. For this reason, regulations that will force pedestrians and vehicles to comply with the rules should be introduced on the streets where accidents are common.

In addition, it was seen that cars had the most accidents between 12:00-16:00 and had more accidents on the weekend. Since the district examined in the study is a region where public transportation transfer centers are concentrated, people should not prefer their own vehicles. Again, a planned transportation policy can be determined according to the peak hours of other vehicle types determined in the study. For example, during the peak hours when the pickup trucks have accidents, alternative transportation routes can be determined and accidents can be prevented.

With this study, it is anticipated that the solution proposals brought to the important accident points determined for the district of Şişli will help the relevant decision-making teams who are trying to reduce traffic accidents.

Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

Acknowledgment and/or disclaimers, if any

We would like to thank the General Directorate of Security for providing the data used in this study and the YÖK 100/200 scholarship program for providing financial support.

Conflict of Interest Statement, if any

The authors do not declare any conflict of interest.

References

Atalay, A. & Say, İ. (2022). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı bisiklet yolu güzergâhı araştırması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(2), 356-362. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1014733>

Camkesen, N., & Bayraktar, Z. (1999). Alan Analizi Yöntemi ile Kazaların Gerçek Nedenlerinin Saptanması. *II. Transportation and Traffic Congress Book of Proceedings*, Ankara. Available Online:<https://docplayer.biz.tr/25379493-Ii-ulasim-ve-trafik-kongresi-sergisi-bildiriler-kitabi.html> (accessed on: 02.12.2021).

Bil, M., Andrasik, R., & Janoska, Z. (2013). Identification of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.003>.

Dereli, M. A., & Erdoğan, S. (2017). A new model for determining the traffic accident black spots using GIS-aided spatial statistical methods. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.05.031>

Ersen, M., Büyüklü, A. H., & Taşabat, S. E. (2021). Analysis of Fatal and Injury Traffic Accidents in Istanbul Sarıyer District with Spatial Statistics Methods. *Sustainability*, 13(19), 11039. <https://doi.org/10.3390/su131911039>

- Ersen, M., Büyüklü, A. H., & Taşabat, S. E.** (2022). Data Mining as a Method for Comparison of Traffic Accidents in Şişli District of Istanbul. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 6(2), pp.113-141. <https://doi.org/10.25034/ijcua.2022.v6n2-2>
- Erdogan, S., Yılmaz, İ., Baybura, T., & Gullu, M.** (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40, 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.05.004>
- Feng, M., Zheng, J., Ren, J., Hussain, A., Li, X., Xi, Y., & Liu, Q.** (2019). Big data analytics and mining for effective visualization and trends forecasting of crime data. *IEEE Access*, 7, 106111-106123.
- Karaman, E.** (2013). *İstanbulda Meydana Gelen Trafik Kazalarının Mekânsal Analizi*. Master's Thesis, Fatih University, Institute of Social Sciences, Department of Geography.
- Kaygısız, Ö., Düzgün, H. Ş., Akın, S. and Çelik, Y.** (2012). *Coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak trafik kazalarının mekânsal ve zamansal analizi*. General Directorate of Security –Middle East Technical University, June, Ankara.
- Khokale, R., & Ghate, A.** (2017). Data Mining for Traffic Prediction and Analysis using Big Data. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 48(3). <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V48P227>
- Lin, L., Wang, Q., & Sadek, A. W.** (2014). Data Mining and Complex Network Algorithms for Traffic Accident Analysis. *Transportation Research Record*, 2460, 128-136. <https://doi.org/10.3141/2460-14>
- Mohaymany, A. S., Shahri, M., & Mirbagheri, B.** (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. *Geo-spatial Information Science*, 16(2), 113-119. <https://doi.org/10.1080/10095020.2013.766396>
- Özmal, M.** (2016). *Kahramanmaraş Şehir Merkezinde Meydana Gelen Trafik Kazalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak İncelenmesi*. Master's Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Institute of Social Sciences, Department of Geography.
- Saphoğlu, M., & Kardeş, M.** (2006). Coğrafi Bilgi Sistemi yardımı ile Isparta ili kent içi trafik kaza analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(3), 321-332. <https://dergipark.org.tr/pub/pajes/issue/20521/218519>
- Söylemezoğlu, T.** (2006). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Trafik Kazalarının Analizi: Ankara Örneği*. Master's Thesis, Gazi University, Graduate School and of Natural Applied Sciences.
- Thakali, L., Kwon, T. J., & Fu, L.** (2015). Identification of crash hotspots using kernel density estimation and kriging methods: a comparison. *Journal of Modern Transportation*, 23, 93-106. <https://doi.org/10.1007/s40534-015-0068-0>
- Tuncuk, M.** (2004). *Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla trafik kaza analizi: Isparta örneği*. Master's Thesis, Süleyman Demirel University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering.
- Xie, Z., & Yan, J.** (2008). Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(5), 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.05.001>
- Xie, Z., & Yan, J.** (2013). Detecting traffic accident clusters with network kernel density estimation and local spatial statistics: an integrated approach. *Journal of Transport Geography*, 31, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.05.009>

Research Article

Factors affecting passengers' satisfaction with rail transit systems

Seydahmet Ercan^{1,*}, Nezir Aydın², Tuba Nur Aslan²

¹ College of General Education, University of Doha for Science Technology, Doha, Qatar

² Industrial Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

*Correspondence: seydahmet.ercan@udst.edu.qa

DOI: 10.51513/jitsa.1114294

Abstract: Ensuring a high traveller satisfaction level in public transportation systems is a vital goal for managers and decision-makers working for municipalities/city governments. Accordingly, transportation service providers need to recurrently assess the quality of their service to determine its adequacy and effectiveness. Providing public transportation services to millions of people, Istanbul Municipality conducts regular surveys to assess the perception of Istanbulers on the quality of public transportation. In this study, we analysed the data obtained from one of these surveys administered to people who use the rail transit lines. We particularly focused on the set of questions that covers the following five dimensions: comfort, fee, safety, accessibility, and overall travel satisfaction. There were 6646 participants answered questions related to these five dimensions. Using the structural equation model, we explored the effects of comfort, fee, safety, and accessibility on travellers' overall satisfaction with the rail transit lines. We used two step modelling. The CFA (confirmatory factor analysis) model (CFI =.99; SRMR=.017; RMSEA =.026) and proposed structural model (CFI =.98; SRMR=.019; RMSEA =.031) showed close model fit for the data. We found that travellers' perceived level of comfort, accessibility, and fee affordability has a significant effect whereas the perceived level of safety does not have a significant effect on passengers' general satisfaction with the rail transit lines.

Key words: Traveller satisfaction, structural equation modelling, comfort, fee, safety, accessibility

Yolcuların raylı ulaşım sistemlerinden memnuniyetini etkileyen faktörler

Özet: Toplu taşıma sistemlerinde yüksek yolcu memnuniyetinin sağlanması belediyeler/şehir yönetimlerinde çalışan yöneticiler ve karar vericiler için hayati bir hedeftir. Buna göre, seyahat hizmeti sağlayıcılarının, yeterliliğini ve etkinliğini belirlemek için hizmetlerinin kalitesini tekrar tekrar değerlendirmeleri gerekir. Milyonlarca kişiye toplu ulaşım hizmeti sunan İstanbul Belediyesi, İstanbulluların toplu ulaşım kalitesine yönelik algısını ölçmek için düzenli olarak anketler yapmaktadır. Bu çalışmada, raylı ulaşım hatlarını kullanan yolculara uygulanan bu anketlerin birinden elde edilen verileri analiz ettik. Analizleri yaparken, özellikle şu beş boyutu kapsayan sorulara odaklandık: konfor, ücret, güvenlik, erişilebilirlik ve genel seyahat memnuniyeti. Bu beş boyuta ilişkin maddelerin tamamına cevap veren 6646 katılımcı analizimize dahil edildi. Bu doğrultuda, yapısal eşitlik modelini kullanarak konfor, ücret, güvenlik ve erişilebilirliğin yolcuların hafif metro hatlarına ilişkin genel memnuniyeti üzerindeki etkilerini araştırdık. Analizimizde iki aşamalı modelleme kullandık. DFA (doğrulamalı faktör analizi) modeli (CFI =.99; SRMR=.017; RMSEA =.026) ve önerilen yapısal model (CFI =.98; SRMR=.019; RMSEA =.031) veriye yakın model uyumu göstermiştir. Sonuçları dikkate aldığımızda, algılanan konfor, erişilebilirlik ve ücret düzeyinin yolcuların demiryolu transit hatlarıyla ilgili genel memnuniyeti üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu, algılanan güvenlik düzeyinin ise anlamlı bir etkisi olmadığını bulduk.

Anahtar Kelimeler: Yolcu memnuniyeti, yapısal eşitlik modeli, konfor, erişilebilirlik, ücret, güvenlik

* Corresponding author.

E-mail address: seydahmet.ercan@udst.edu.qa

ORCID: 0000-0002-9174-9249, 0000-0003-3621-0619, 0000-0003-4562-5453

Received 11.05.2022; accepted 20.01.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

One of the most important tasks for decision-makers working for metropolitan municipalities is to achieve a high degree of customer satisfaction and loyalty in public transportation systems. Consequently, public transportation providers need to frequently assess the quality of their service to determine their adequacy and effectiveness. This assessment should be a comprehensive one and focus on the existing and forecasted demand trends, most important activities, concerns of stake holders, as well as unmet service needs (Hassan et al., 2013). Studying service quality and customer satisfaction is not easy because these constructs are complex and intangible (Parasuraman et al., 1985; Carman, 1990). Furthermore, these constructs consist of a series of observed and unobserved variables underlying them (De Ona et al., 2013). With the advancement in statistical analysis techniques and with the advent of structural equation modeling (SEM), researchers are better equipped to study these complex- and intangible-constructs. Therefore, recent studies have utilized the use of SEM to better understand the interacting effects of observed and unobserved variables on customer satisfaction (Aktepe et al., 2015; Eboli and Mazzula, 2012; Hadiuzzman et al., 2017; Mohajerani, 2013; Shen et al., 2016; Zaim et al., 2010). In line with these recent studies, we aimed to study the factors affecting traveler satisfaction of the rail transit network in Istanbul. Based on the survey conducted by Istanbul Municipality, we studied the effects of service accessibility, fare, comfort, and safety on passengers' satisfaction with the rail transit service of Istanbul.

1.1 Literature review

Authorities and researchers consider rail transit as one of the vital public transportation modes (Özgür, 2011; Givoni and Banister, 2012; Aydin, 2017; Aydin et al., 2022), and according to some researchers it helps reducing the traffic congestion (Litman, 2007; Manzolli et al., 2021). It is not just effective in reducing traffic congestion but also effective in reducing costs. Since rail transit systems are effective in decreasing traffic congestion and help travellers to trip in a shorter time its customers increase over time. Thus, to continue this trend and make cities more sustainable, providing high service quality in rail transit systems is very important. Further, the quality of transportation modes plays a role here; if the quality of other modes is worse, passengers of other transportation modes will be more willing to shift modes. Consequently, enhancing rail transit service quality decreases the lag or number of vehicle-car trips, which helps all commuters.

Passengers are the main agent for public transportation systems. Therefore, traveler satisfaction has been studied for decades by researchers who applied a variety of approaches to examine passengers' satisfaction level with the transportation service they received. For example, Aydin et al. (2015) applied statistical analyses of SERVQUAL and fuzzy-VIKOR on a survey conducted in rail transit network (metros, trams, light rail, and funicular). Their proposed approach provides directions for future investments to have a higher traveler satisfaction. Hasan et al. (2013), Eboli and Mazzulla (2009, 2011), and Tyrinopoulos and Antoniou (2008) have considered traveler perceptions in determining passenger satisfaction level and service quality with multiple methods. Yannis and Georgia (2008) and Nathanail (2008) analyzed both passenger satisfaction and transit performance measures simultaneously.

Previous research has used a variety of criteria when examining traveler satisfaction. These criteria are reliability, frequency, capacity, information, safety, comfort, ticketing, cleanliness, personnel, and fees. Tyrinopoulos and Antoniou (2008) analyzed five public transport systems operating three different modes of transport (i.e. bus, trolleybus and rail/metro) in Athens and Thessaloniki, the two largest cities in Greece. Their work suggested that the main goal of policy makers in Athens should be a well-coordinated transport environment followed by other quality features such as service frequency and accessibility.

In this study, we analyzed the satisfaction level of passengers who use the rail transit network in Istanbul and provide suggestions for future investments. Regardless of having a private car or not, a considerable amount of people prefer public transportation in Istanbul (Toplu Tasima, 2022). Although the rate of people using public transportation is high; people still suffer from traffic jams in Istanbul (Yogunluk, 2022). Congestion occurs in both the railway and other public transport vehicles during rush hour. Because traffic jam and congestion occur on public transportations whereas only congestion occurs in rail transit network, most of the passengers who commute daily during the peak hours prefer

rail transit. Thus, ensuring these daily commuters' satisfaction with the transit network becomes a very important factor for managers and decision makers to keep them using public transportation (Celik et al., 2014).

1.2 Hypothesis

In this study, based on the existing customer satisfaction studies (Jain et al., 2014; Chaloux et al., 2019), we adopted attitudinal measures and identified comfort, fee, safety, and accessibility as significant variables affecting rail transit line passengers' satisfaction level. The definition and operationalization of these variables and the proposed hypotheses are discussed below.

1.2.1 Comfort

Passengers' comfort during the time when they use rail transit network is evaluated through three sub-criteria, which are crowdedness of the train cars, noise level and vibration inside the train cars, and air-conditioning system (i.e., temperature and humidity) of the train cars (Aydin et al., 2015). Comfort has been considered as one of the main variables that affects the loyalty (Shifan et al., 2015) and satisfaction (Brons et al., 2009; Eboli and Mazzula, 2011; Nathanail, 2008) of rail transit passengers. Comfort level was measured by criteria such as larger seats, cleanness and noise in these studies and the results indicated that comfort level has a significant effect on traveler satisfaction and loyalty. In line with these results, we are expecting that comfort level of train cars will have a positive effect on train passengers' satisfaction in Istanbul.

H1: Passengers' perceived level of comfort will have a positive effect on their general satisfaction.

1.2.2 Fee

In this study, the price of metro and transfer (train change or mode change) tickets are considered as fees. Aydin et al. (2015) indicated that fee, as criterion of traveler satisfaction, can be considered as a function of a price-quality ratio and passengers evaluate their satisfaction with fee based on the quality of the service they are given. If passengers are paying relatively high fees, they expect a relatively high-quality service in return to be satisfied. If they are paying relatively low fees, they may be satisfied with a relatively moderate quality of service. All in all, if passengers are happy with the fee, the perceived benefit should be high; otherwise, the perceived value should be low or none (Wen et al., 2005). Therefore, we are expecting that as passengers' satisfaction with the fare increases, their overall satisfaction with the metro rail service will increase.

H2: Passengers' satisfaction with fee will have a positive effect on their general satisfaction.

1.2.3 Safety

Previous studies evaluated safety using various sub-criteria, which includes but not limited to safety at metro stations, safety inside the trains, and the behaviors and attitudes of safety crew toward passengers (e.g., Aydin et al., 2015). Safety has been found to be positively associated with the traveler's satisfaction (Shifan et al., 2015). The higher the passengers' feeling of safety and safety toward a rail transit, the more satisfied they are with the metro rail service they have. Therefore, we are expecting that safety will have a significant positive effect on passengers' overall satisfaction with the metro-rail service.

H3: Passengers' perceived level of safety will have a positive effect on their general satisfaction.

1.2.4 Accessibility

Metropolitan cities provide residents with bus and train connections to make their daily commute easier. When there are lots of connection options, it becomes significant to inform the passengers correctly and clearly about the schedules, routes and transfers regarding the daily bus and metro-rail services. Additionally, metropolitan cities need to make their transportation services easily accessible to millions of passengers by providing them with moving walkways, elevators, well-functioning tollgates, etc. Otherwise, it will be difficult for disabled individuals and senior citizens to use the public transportation. All these additional services will increase the accessibility of the public transportations service. Therefore, we measure the perceived level of accessibility based on six sub-criteria: information and guidance in trains, easier transfer within modes and trains, escalators, moving

walkways and elevators, ticketing system and vending services, and tollgates. Aydin et al. (2015) indicated that accessibility of metro-rail service can be increase by using screen displays for schedule, train departures/arrivals, routes information, route map(s), announcements in stations during and after breakdowns, and announcements in trains during the travel. As the accessibility increase through effectively providing these additional services, traveler satisfaction also increases (Shiftan et.al, 2015). Therefore, we expect that the accessibility of metro-rail services will positively affect passengers' overall satisfaction.

H4: Passengers' satisfaction with accessibility will have a positive effect on their general satisfaction.

In summary, we expect that the higher the perceived comfort level, the more acceptable the fees, the higher the level of safety and the higher the level of accessibility, the more satisfied the passengers will be.

2. Methodology

In this section, we first discuss the details of the survey conducted by Istanbul Transportation Authority (ITA). Later, we will present the results of descriptive and structural equation modeling (SEM) analyses. This section will be concluded with the discussions of the results.

2.1 Participants

SEM requires no missing data. Thus, we included participants who answered all 13 indicator items in the SEM analysis. There were 6646 participants in total. We started data analysis with cross tabulation analyses to get the descriptive statistics pertaining to participants. The results of these analyses are provided in Table 1 and Table 2.

Based on the results in Table 1, 53% of the passengers are between 15 and 25, about 30% are between 26 and 35, and 10% are between 36 and 45 years of old. Overall, 93% of the participants were younger than 45 years old. These results confirm Aydin (2017) who indicated that young people prefer public transportation and older people prefer private cars. We should also note that only about 60% of the people surveyed answered both questions ("What is your sex?" and "How old are you?").

Table 1: Participants' age by gender

		Age					Total	
		15-25	26-35	36-45	46-55	56+		
Gender	Male	Count	853	433	73	30	10	1399
		%	22,0	11,1	1,9	0,8	0,3	36,0
	Female	Count	1205	729	313	167	73	2487
		%	31,0	18,8	8,1	4,3	1,9	64,0

Table 2 provides information on participants' occupation. Eighty percent of the passengers have a job, and they mostly use rail transit system to commute to their work. Five percent of them are either student or intern and they also mostly use rail transit system to commute to their schools. Passengers who are between ages of 26 and 35 and self-employed constitute the largest percentage. We should note that in total 4075 passengers answered both questions ("How old are you?" and "What is your job?").

2.2 Survey

In this study, we examined the customer satisfaction surveys conducted in 2014. Participants were passengers using seven rail transit lines, namely F1, M1, M2, M3, M4, T1, and T4. F1 connects M2 line to Taksim-Tünel Heritage Tram and other public transportation modes in Kabataş. M1 is Istanbul's first light rail system, opened in 1989, and serves between Aksaray and Atatürk Airport. Serving since 2000, M2 serves between Yenikapı and Hacıosman. The M4 is one of the the newest (in operation since 2012) and longest railway line at 22.7 km. It serves between Kadıköy and Kaynarca/Tavşantepe. T1 was first put into service in 1992 and has been expanded since 2011 to connect Kabataş to Bağcılar. The T4 was developed in 2007 and integrates rail lines with Bus Rapid Transit lines. It serves between

Topkapi and Masjid Selam Tram Line. The M3 was first put into service in November 2013 and connected Kirazlı to the Olympic station. All lines are under constant surveillance and monitoring with CCTV cameras placed all over the stations. The most crowded line, the M1, serves approximately 320,000 passengers per day, and passengers can find the metro every 2 minutes during peak hours (Metro Istanbul, 2021)

Table 2: The distribution of participants' occupation by age

Occupation	Age Group										Total Count	Total %
	15-25		26-35		36-45		46-55		56+			
	Count	%	Count	%	Count	%	Count	%	Count	%		
S. Employed	595	12,6%	763	16,2%	102	2,2%	49	1,0%	21	0,4%	1530	32,5%
Manager	48	1,0%	34	0,7%	5	0,1%	1	0,0%	0	0,0%	88	1,9%
Public	302	6,4%	398	8,5%	85	1,8%	40	0,9%	8	0,2%	833	17,7%
Private	385	8,2%	468	9,9%	156	3,3%	57	1,2%	12	0,3%	1078	22,9%
Athlete/Artist	139	3,0%	89	1,9%	5	0,1%	1	0,0%	0	0,0%	234	5,0%
Intern	53	1,1%	16	0,3%	1	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	70	1,5%
Student	632	13,4%	35	0,7%	3	0,1%	1	0,0%	0	0,0%	671	14,3%
Housewife	4	0,1%	17	0,4%	20	0,4%	8	0,2%	4	0,1%	53	1,1%
Retiree	1	0,0%	0	0,0%	4	0,1%	3	0,08%	38	0,8%	46	1,7%
Unemployed	41	0,9%	19	0,4%	5	0,1%	4	0,1%	0	0,0%	69	1,5%
Total	2200	46,8%	1839	39,1%	386	8,2%	164	4,2%	83	1,8%	4672	100,0%

Note. $N=4672$. *S. Employed* = self-employed; *Public* = public sector employee; *Private* = private sector employee.

Table 3. Survey Items Measuring Passengers' Satisfaction

Dimension	Items
Accessibility	Satisfaction with information provided and leadings in
	Satisfaction with transferring between rail lines.
	Satisfaction with escalators, walking bands and elevators.
	Satisfaction with ticketing and ticket vending machines.
	Satisfaction with tourniquets and tollgates.
Fee	Satisfaction with informing and leading services.
	Satisfaction with the fee.
Comfort	Satisfaction with noise and vibration levels in trains.
	Satisfaction with ventilation service.
	Satisfaction with crowdedness level in trains.
Safety	Satisfaction with feeling safe on trains.
	Satisfaction with behaviors of safety and workers towards
	Satisfaction with feeling safe at stations.
Customer/Traveler Satisfaction	Overall satisfaction with rail transit lines.

The face-to-face surveys conducted by ITA consist of 48 questions. Fourteen of these 48 questions were related to customer satisfaction, and we focused on these 14 questions in this study. These 14

questions were covering five dimensions pertaining to traveler satisfaction. These dimensions include comfort, safety, fee, accessibility, and overall customer (traveler) satisfaction. Table 3 provides the list of these 14 questions and their respective dimensions.

After cross-tabulation analyses, we continue our analyses with SEM. As suggested by Anderson and Gerbing (1998), Klein (2011), and McDonald (2010) we used two-step modelling and tested CFA measurement model first and the proposed structural model later. The next section provides a discussion of the results of CFA measurement model and SEM analyses.

3. Results

Table 4 presents model fit statistics for the CFA measurement model and proposed structural equation model. CFA measurement model demonstrated a lack of exact fit as indicated by statistically significant χ^2 statistics. The indices of approximate model fit, however, indicated close CFA measurement model fit (CFI =.99; SRMR=.017; RMSEA =.026) for the data. In addition to this, the smallest estimated factor loading observed was larger than .50 in the CFA model. This result provided support for convergent validity between measures loading on a factor (Comrey and Lee, 1992). Thus, these results indicated support for the validity of multi-factor measurement model.

As in the case of CFA model, SEM demonstrated a lack of exact fit ($\chi^2 = 479, p < .001$) indicated lack of exact fit. However, model fit statistics (CFI =.98; SRMR=.019; RMSEA =.031) indicated close model fit for the data. Therefore, based on these model fit indices, we retained the proposed SEM model.

Table 4: Model fit statistics for the measurement and the proposed structural modeling for passengers' satisfaction

	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	CFI	SRMR	RMSEA
Measurement Model	367.73	66	<.001	.99	.017	.026 [.024, .029]
Structural Model	479.6	65	<.001	.98	.019	.031 [.028, .034]

Note. χ^2 = Chi-squared statistic; *df* = degrees of freedom; *p* = significance level of Chi-squared statistic; CFI = comparative fit index; SRMR = standardized root mean square residual; RMSEA = root mean square error of approximation. Values in brackets are lower and upper limits of %95 confidence intervals of RMSEA.

The proposed model included five latent constructs which are fee, comfort, safety, accessibility, and customer/traveler satisfaction. Customer/Passenger satisfaction was the outcome variable, and the other four latent variables were predictor variables. The structure equation model of the study is shown in Figure 1.

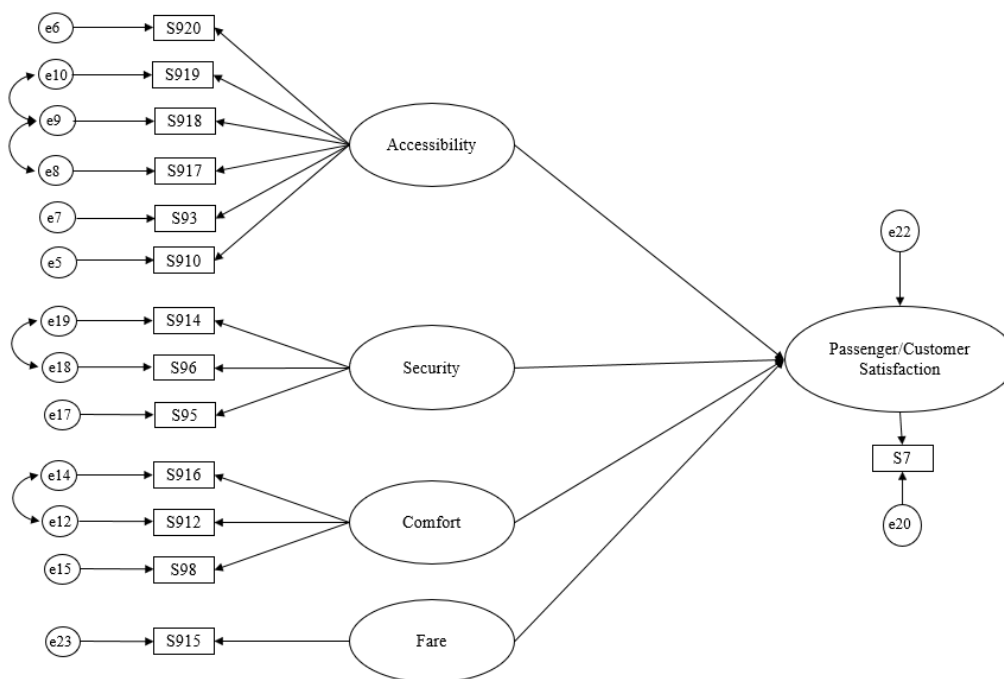


Figure 1. Structure equation modeling of the study

Table 5 presents unstandardized and standardized regression path coefficients for the proposed structural equation model. For each path coefficients, the table also presents the associated standard error (SE) and statistical significance which is based on SE (see Arbuckle, 2011, p. 417). We focused on the standardized regression weights and their significance level to test our hypotheses.

Table 5: Average standardized regression path estimates for the proposed model

Predictor variable	Predicted variable	Unstandardized path estimates			Standardized path estimates		
		B	SE	p	β	SE*	p*
Comfort	→ Passenger satisfaction	.17	.04	<.01	.33	.10	.01
Fee	→ Passenger satisfaction	.14	.04	<.01	.31	.12	.01
Safety	→ Passenger satisfaction	.08	.08	.30	.14	.17	.53
Accessibility	→ Passenger satisfaction	.21	.09	.02	.32	.17	.03

Note. B = unstandardized regression weights; β = standardized regression weights; SE = standard errors associated with regression weights; p = two tailed probability values associated with regression weights. * Standard errors and p values for standardized regression weights were obtained using bootstrapping method based on 1,000 resamples with replacement and p values for standardized regression weights were calculated by using bias-corrected percentile method.

Our first hypothesis explores the effect of passengers’ perceived level of comfort on their general satisfaction. The results support our expectations: Passengers’ perceived level of comfort has a significantly positive effect on customers’/passengers’ general satisfaction with the rail transit lines ($\beta = .33, p < .01$). This suggests that as the passengers’ perceived level of comfort with Istanbul rail transit system increases their level of satisfaction increases. The second hypothesis addresses the effect of fee on customer/traveler satisfaction. The results indicates that fee is a significant factor in determining passengers’ general satisfaction with the rail transit lines ($\beta = .31, p < .01$). We further found support for our fourth hypothesis pertaining to the effect of accessibility. The results suggest that accessibility has a positive significant effect on customers/passengers’ general satisfaction ($\beta = .32, p < .01$). However, the results do not provide support for our third hypothesis; passengers’ perceived level of

safety does not have a significant effect on their general satisfaction with the rail transit lines. All in all, the results suggest that as passengers' satisfaction with the fees and the level of comfort and accessibility increases their general satisfaction pertaining to their daily commute with rail transit lines increases.

4. Discussion

Rail transit transportation is the vital mode of transportation in big and crowded cities such as Istanbul, New York, and Tokyo. In such cities, rail transit provides daily commuters with a good option to bypass traffic congestion, particularly during the peak hours. The more satisfied passengers are with the rail transit system, the more likely they are going to use it. As these daily commuters start using the rail transit system instead of their private cars, the problems associated with traffic congestion will be reduced. Therefore, achieving a high customer satisfaction in services provided by the rail transit system is imperative for ITA. Being aware of this fact ITA conducts regular customer satisfaction surveys and asks daily commuters to rate their satisfaction with the various aspects of the services provided by the rail transit system. Upon analyzing the 2014 survey data using SEM, we were able to present a rail transit customer satisfaction framework. Approximate model fit indices indicated that the model we developed provides a close fit to the data. Based on the model, fees, accessibility, and comfort have a significant effect whereas safety does not have a significant effect on passengers' general satisfaction.

Transportation literature suggest fees as significant factors in determining daily commuters' overall satisfaction with the public transportation (Abou-Zeid and Ben-Akiva, 2012; Li et al., 2018). The experimental results by Abou-Zeid and Ben-Akiva (2012) indicated that being cost-conscious was one of the primary reasons why some of their participants switched from using a personal car to using public transportation. Additionally, Li et al. (2018) discussed switching costs are significant factors in deciding whether to switch from one form of transportation to another form of transportation. Based on the results observed in this study along with the results obtained in transportation literature, we can say that fees are significant to shape the experience/satisfaction of people who use public transportation. The effects of public transportation fees on daily commuters' satisfaction might get even stronger when a country experience economic crisis. This is because switching cost from public transportation to private cars will be higher when a country suffers from an economic crisis.

Accessibility is also one of the significant factors that affected daily commuters' satisfaction with public transportation services and willingness of using these services (Borhan et al., 2019; Brons et al., 2009). Borhan et al. (2019) found that not having an easy access to public transportation was one of the main concerns of locals of Putrajaya, Malaysia. Additionally, the results by Brons et al. (2009) indicated that the accessibility of train stations was one of the significant elements in determining whether people would use rail transit. In line with these results, our results suggested that Istanbulers' satisfaction with accessibility of the rail system had a significant effect on their overall satisfaction. Thus, ITA might increase Istanbulers' satisfaction with rail transit system by keeping the system accessible by increasing the number of stations, providing accurate and up-to-date information about the services, and designing user friendly stations with easy-to-use tool gates, ticketing machines, and elevators/walking-bands

Comforts has been also identified as one of the most studied factors of customer satisfaction with public transportation systems (Ibrahim et al., 2020). Weinstein (2000) found that comfortable seats and noise level are among the most significant factors affecting comfort of train ride. Brons and Rietveld (2009) highlighted ventilation of train cars as a significant element of comfort. Additionally, Ettema et al. (2012) discussed the level of crowdedness as a factor influencing passengers' comfort. In line with these studies, our results suggested noise level, ventilation, and crowdedness as significant indicators of passengers' comfort level. Therefore, the more satisfied Istanbulers' with the noise level, ventilation, and crowdedness of train cars and stations, the more satisfied they are with their daily train commute.

Although safety has been considered as a significant factor affecting all aspects (e.g., route, mode, time) of travel choice (Atkins, 1990), our results indicated that it is not one of the significant factors affecting passengers' satisfaction with the rail transit lines in Istanbul. One of the possible explanations for this finding is that most of the rail transit lines (e.g., M1, M4, and T1) included in this study are connecting

districts which has low personal crime rates (Yirmibesoglu and Ergun, 2007). Because personnel crime rates are not a pressing issue for these areas, daily commuters-already feeling safe-might not consider safety as a factor in assessing their satisfaction with the transit rail system. Therefore, this finding might not be generalizable to the other districts of Istanbul as well as to the other geographical locations.

4.1 Practical implications

Considering the four predictor factors of passenger satisfaction in this study, having comfortable, affordable, and accessible metro-rail service increases Istanbulers' satisfaction with the rail transit system. Thus, ITA should consider these factors to improve Istanbulers' experience with their rail transit systems. Although safety was not found as a significant predictor of passenger satisfaction, not taking, or reducing safety measures might negatively affect Istanbulers' experience with their rail transit systems. Safety measures might be especially relevant when there are high safety risks, such as the possibility of a terrorist attack (Elias et al, 2013; Sackett and Botterill, 2006).

4.2 Limitations

The data used in this study was collected in 2014. Thus, these results might not reflect the current experience of Istanbulers with rail transit systems. However, this does not weaken the importance of this study's findings: when daily commuters are satisfied with the fees, accessibility, and comfort of the rail transit system, this will positively affect their overall satisfaction.

Table 6: Author contribution statement

Steps	Contributors
Idea and concept	Authors 1 and 2
Literature search	All authors
Research design	Authors 1 and 2
Data collection and analysis	All authors
Discussion	All authors

Conflict of Interest

The authors have no conflict of interest to declare.

Financial Disclosure

No financial support received for this study.

References

- Abou-Zeid, M., & Ben-Akiva, M.** (2012). Travel mode switching: Comparison of findings from two public transportation experiments. *Transport Policy*, 24, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.013>
- Aktepe, A., Ersöz, S., & Toklu, B.** (2015). Customer satisfaction and loyalty analysis with classification algorithms and structural equation modeling. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 95-106.
- Anderson, J.C. & Gerbing, D. W.** (1988). Structural equation modeling in practice: A review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103(3): 411-423.
- Arbuckle, J. L.** (2011). *IBM SPSS Amos 20 user's guide*. Amos Development Corporation.
- Atkins, S. T.** (1990). Personal security as a transport issue: A state-of-the-art review. *Transport Reviews*, 10(2), 111-125.
- Aydin, N.** (2017). A fuzzy-based multi-dimensional and multi-period service quality evaluation outline for rail transit systems. *Transport Policy*, 55, 87-98.
- Aydin, N., Celik, E., & Gumus, A. T.** (2015). A hierarchical customer satisfaction framework for evaluating rail transit systems of Istanbul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 61-81.

- Aydin, N., Seker, S., & Özkan, B.** (2022). Planning location of mobility hub for sustainable urban mobility. *Sustainable Cities and Society*, *81*, 103843.
- Borhan, M. N., Ibrahim, A. N. H., Syamsunur, D., & Rahmat, R. A.** (2019). Why public bus is a less attractive mode of transport: A case study of Putrajaya, Malaysia. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, *47*(1), 82–90.
- Brons, M., Givoni, M., & Rietveld, P.** (2009). Access to railway stations and its potential in increasing rail use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *43*(2), 136-149.
- Brons, M., & Rietveld, P.** (2009). Improving the quality of the door-to-door rail journey: A customer-oriented approach. *Built Environment*, *35*(1), 122–135.
- Carman, J. M.** (1990). Consumer perceptions of service quality: An assessment of the SERVQUAL dimensions. *Journal of Retailing*, *66*(1), 33 - 55.
- Celik, E., Aydin, N., & Gumus, A. T.** (2014). A multi-attribute customer satisfaction evaluation approach for rail transit network: A real case study for Istanbul, Turkey. *Transport Policy*, *36*, 283-293.
- Chaloux, N., Boisjoly, G., Grisé, E., El-Geneidy, A., & Levinson, D.** (2019). I only get some satisfaction: Introducing satisfaction into measures of accessibility. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *62*, 833-843.
- Comrey, A. L., & Lee, H. B.** (1992). Interpretation and application of factor analytic results. Comrey AL, Lee HB. A first course in factor analysis, 2, 1992.
- De Oña, J., de Oña, R., Eboli, L., & Mazzulla, G.** (2013). Perceived service quality in bus transit service: A structural equation approach. *Transport Policy*, *29*, 219-226.
- Eboli, L., & Mazzulla, G.** (2009). A new customer satisfaction index for evaluating transit service quality. *Journal of Public Transportation*, *12*(3), 21 - 37.
- Eboli, L., & Mazzulla, G.** (2011). A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view. *Transport Policy*, *18*(1), 172-181.
- Eboli, L., & Mazzulla, G.** (2012). Performance indicators for an objective measure of public transport service quality. *European Transport*, *51*, 1-21.
- Elias, W., Albert, G., & Shiftan, Y.** (2013). Travel behavior in the face of surface transportation terror threats. *Transport Policy*, *28*, 114-122.
- Ettema, D., Friman, M., Gärling, T., Olsson, L. E., & Fujii, S.** (2012). How in-vehicle activities affect work commuters' satisfaction with public transport. *Journal of Transport Geography*, *24*, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.007>
- Givoni, M., & Banister, D.** (2012). Speed: the less important element of the High-Speed Train. *Journal of Transport Geography*, *22*.
- Hadiuzzman, M., Das, T., Hasnat, M. M., Hossain, S., & Rafee Musabbir, S.** (2017). Structural equation modeling of user satisfaction of bus transit service quality based on stated preferences and latent variables. *Transportation Planning and Technology*, *40*(3), 257-277.
- Hassan, M. N., Hawas, Y. E. & Ahmed, K.** (2013). A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *50*, 47-61.
- Ibrahim, A. N. H., Borhan, M. N., & Ismail, A.** (2020). Rail-based Public Transport Service Quality and User Satisfaction—A Literature Review. *Promet-Traffic & Transportation*, *32*(3), 423–435.
- Jain, S., Aggarwal, P., Kumar, P., Singhal, S., & Sharma, P.** (2014). Identifying public preferences using multi-criteria decision making for assessing the shift of urban commuters from private to public transport: A case study of Delhi. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *24*, 60-70.

- Kline, R. B.** (2011). *Principles and practices of structural equation modeling* (3rd ed.). The Guilford Press.
- Li, L., Bai, Y., Song, Z., Chen, A., & Wu, B.** (2018). Public transportation competitiveness analysis based on current passenger loyalty. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.04.016>
- Manzoli, J. A., Trovão, J. P., & Antunes, C. H.** (2021). Scenario-based multi-criteria decision analysis for rapid transit systems implementation in an urban context. *ETransportation*, 7, 100101.
- Metro Istanbul** (2021). Tüm hatlarımız. Retrieved June 30, 2021, from <http://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/TumHatlarimiz>
- McDonald, R.** (2010). Structural models and the art of approximation. *Perspectives on Psychological Science* 5(6), 675-686.
- Mohajerani, P.** (2013). Customer satisfaction: A structural equation modeling analysis. *Australian Journal of Business and Management Research*, 3(3), 1-11.
- Nathanail, E.** (2008). Measuring the quality of service for passengers on the Hellenic railways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(1), 48-66.
- Özgür, Ö.** (2011). Performance analysis of rail transit investments in Turkey: İstanbul, Ankara, İzmir and Bursa. *Transport Policy*, 18(1), 147-155.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L.** (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of Marketing*, 49(4), 41-50.
- Sackett, H., & Botterill, D.** (2006). Perception of international travel risk: An exploratory study of the influence of proximity to terrorist attack. *E-review of Tourism Research*, 4(2), 44-49.
- Shen, W., Xiao, W., & Wang, X.** (2016). Passenger satisfaction evaluation model for Urban rail transit: A structural equation modeling based on partial least squares. *Transport Policy*, 46, 20-31.
- Shiftan, Y., Barlach, Y., & Shefer, D.** (2015). Measuring passenger loyalty to public transport modes. *Journal of Public Transportation*, 18(1), 1-16.
- Toplu Tasima.** (2022). <https://iett.istanbul/icerik/istanbulda-toplu-ulasim>. [Last Access: November 2022].
- Tyrinopoulos, Y., & Antoniou, C.** (2008). Public transit user satisfaction: Variability and policy implications. *Transport Policy*, 15(4), 260-272.
- Weinstein, A.** (2000). Customer satisfaction among transit riders: How customers rank the relative importance of various service attributes. *Transportation Research Record*, 1735(1), 123–132.
- Wen, C. H., Lan, L., & Cheng, H. L.** (2005). Structural equation modeling to determine passenger loyalty toward intercity bus services. *Transportation Research Record*, 1927, 249-255.
- Yannis, T., & Georgias, A.** (2008). A complete methodology for the quality control of passenger services in the public transport business. *European Transport*, 38, 1-16.
- Yirmibesoglu, F., & Ergun, N.** (2007). Property and personal crime in Istanbul. *European Planning Studies*, 15(3), 339-355.
- Yogunluk.** (2020). <https://ceoworld.biz/2020/01/30/these-are-the-most-traffic-congested-cities-in-the-world-2020/>. [Last Access: November 2022].
- Zaim, S., Turkyilmaz, A., Tarim, M., Ucar, B., & Akkas, O.** (2010). Measuring customer satisfaction in Turk Telekom Company using structural equation modeling technique. *Journal of Global Strategic Management*, 7, 89-99.

Araştırma Makalesi

Elektrik tahrikli bir tren hareketinin benzetim ortamında modellenmesi ve modelin gerçek bir hat üzerinde doğrulanması

Ahmet Yıldız^{1,*}, Kemal Keskin²

¹ Metro İstanbul Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, İstanbul, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

*Correspondence: ahmetyldz91@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.1099941

Özet: Ulaşım ve taşımacılık günümüz dünyasında önemli bir yere sahiptir. Gelişen teknoloji ile yolculuk sürelerinin kısalması ve büyüyen nüfus kentsel hareketliliğin artmasına sebep olmaktadır. Hareketlilik yaşam kalitesinin anahtarı ve ekonominin ana unsuru olmakla birlikte ulaşımın her geçen gün gelişmesine paralel olarak toplu taşımanın çevreye olan etkileri ve enerji tüketimi de aynı oranda artmaktadır. Bir raylı sistemi oluşturan parçaların enerji tüketim seviyeleri farklıdır. Açıktır ki enerji tüketiminde en büyük pay treni itmek için üretilen cer kuvvetinin sağlanması aşamasına aittir. Cer enerji tüketimini en aza indirmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri mevcuttur. Ancak bunu başarabilmek için gerçek bir tren hareketini benzeten bir tren hareket benzetimine (THB) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, bir raylı taşıta ait karakteristik özellikler, raylı sistem ağındaki yol özellikleri ve işleme bağlı kısıtlar göz önünde bulundurularak, taşıta ait model MATLAB benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen THB ile gerçek tren hareketinin ne kadar doğrulukla gerçekleştirildiğinin tespit edilebilmesi için, Metro İstanbul A.Ş. işletmesine bağlı olan M3 Metro hattındaki trenlerde saha testleri yapılmıştır. Saha ve THB verilerinin karşılaştırılması sonucunda, THB'nin enerji tüketiminde %95, sürede %98, maksimum cer kuvveti ile aynı mesafede ulaşılan hızda %99, boşta giderek ulaşılan hızda %94 ve frenleme mesafesinde %97 doğrulukla, gerçek tren hareketlerini benzetebildiği ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Raylı Sistemler, Matematiksel Modelleme, Tren Dinamikleri, Model Doğrulama, Vaka Çalışması

Modeling of an electrically driven train motion in a simulation environment and validation of the model on a real line

Abstract: Transportation and transportation have an important place in today's world. With the developing technology, the shortening of travel times and the growing population cause an increase in urban mobility. Although mobility is the key to the quality of life and the main element of the economy, in parallel with the development of transportation, the environmental effects and energy consumption of public transportation are increasing at the same rate. The energy consumption levels of the parts that make up a rail system are different. It is clear that the largest share in energy consumption belongs to the stage of providing the traction force produced to propel the train. Various optimization methods are available to minimize the traction energy consumption. However, in order to achieve this, a train motion simulation (TMS) that simulates a real train movement is needed. In this study, the model of a rail vehicle is implemented in the MATLAB simulation environment, taking into account the characteristics of a rail vehicle, road characteristics in the rail system network and operational constraints. In order to determine how accurately the real train movement is carried out with the developed THB, field tests were carried out on the trains on the M3 Metro line operated by the Metro İstanbul company. As a result of the comparison of the field and THB data, it has been revealed that THB can simulate real train movements with 95% accuracy in energy consumption, 98% in time, 99% in speed reached at the same distance with maximum traction force, 94% in coasting speed and 99% in stopping point.

Keywords: Rail Systems, Mathematical Modelling, Train Dynamics, Model Validation, Case Study

* Corresponding author.

E-mail address: ahmetyldz91@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6490-6109; 0000-0002-3969-2396 (in hierarchical order)

Received 07.04.2022; accepted 21.11.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Bir demiryolu cer gücü sistemi, trenlerin yolcuları veya yükleri varış yerlerine taşınması için enerji sağlar. Tekerlekler ve raylar arasındaki düşük yuvarlanma direnci nedeniyle, demiryolu sistemi yaygın olarak en verimli kara taşımacılığı biçimlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Hillmansen, 2007). Enerji fiyatlarının ve çevresel kaygıların artması nedeniyle, son yıllarda tren enerji verimli işletme tekniklerine artan bir ilgi gösterilmiştir. Cer enerjisi tüketimi optimizasyonu yapılabilmesi için bilgisayar ortamında geliştirilen ve gerçek bir tren hareketini doğru bir şekilde taklit edebilen bir benzetim geliştirilmesi gereklidir.

Tren hareketlerinin ve güç kaynağı koşullarının bilgisayar tabanlı benzetimi üzerine araştırmalar birkaç on yıldır devam etmektedir. İlk çalışmalardan birinde, 1978'de, hızlı trenlerin performans özelliklerini incelemek için bilgisayar tabanlı bir benzetim geliştirilmiştir (Mellitt, 1978). 1993'te Cheng ve Howlett (Cheng ve Howlett, 1993), bir demiryolu aracının enerji tüketimini hesaplamak amacıyla ayrık kontrol model (Discrete control model) tabanlı bir tren hareket benzetimi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde enerji tüketim hesaplama yöntemi olarak, deneysel formül ve sayısal bütünleşme kullanmışlardır. 1996'da Howlett ve arkadaşları (Howlett, 1996), sürekli kontrol model (Continuous control model) tabanlı benzer bir çalışma daha yapmışlardır. 2016'daki bir başka çalışmada Howlett ve arkadaşları (Albrecht vd. 2015), sürekli kontrole sahip genel bir tren hareket modeli sunmuşlardır. Burada ayrık kontrollü model dikkate alınmamıştır. Modele çeşitli güzergâh ve araç parametrelerinin yanı sıra hattın belirli bölgelerindeki hız kısıtlamaları da dâhil edilmiştir. Yağmur ve arkadaşları (Arıkan, 2020), raylı sistemlerde enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla tek bir tren hareketinin modeli geliştirmişlerdir. Bu modele eğim, kurp vb. gibi güzergâh ve araca ait çeşitli parametrelerin dâhil edilmesinin yanı sıra bir konfor parametresi de eklenmiştir. Ignacio Villalba ve arkadaşları (Sanchis ve Zuriaga, 2016) tek tren hareketine ait bir model geliştirmişlerdir. Sunulan araç, mekanik ve elektrikli bir modele dayanmaktadır. Mekanik model, her benzetim adımında tren hızını ve konumunu yeniden hesaplar. Hızlanma parametresi, cer kuvveti, aerodinamik direnç, hat eğimi ve eğrilik direnci, fren kuvveti ve dinamik tren kütlesi aracılığıyla elde edilir. Tüm benzetim adımlarında çekiş kuvveti ve hız bilinerek enerji tüketimi hesaplanır. Frenleme işlemi sırasında trende geri kazanılan enerjinin belirlenmesi de mümkündür. Weiyang ve arkadaşları (Wang vd. 2018), çoğunluğun dikkate aldığı tek kütle noktası yerine çok parçalı tren modelini temel alarak bir tren hareket modeli önermişlerdir. Bu model hattın iniş ve çıkışlı yollarında hareket eden bir treni gerçeğe çok daha yakın temsil edebilmektedir. Peng Hu ve arkadaşları (Hu vd. 2012), daha önce verilen çalışmalardaki tüm parametrelere ek olarak rejeneratif frenleme enerjisinin de hesaplamalara dâhil edildiği bir tren hareket modeli önermişlerdir. Keskin ve Karamancıoğlu (Keskin, 2017), örnek olay olarak Eskişehir hafif raylı sistem ağının bir bölümünden gerçeğe yakın bir tren ve test yolu modellemişlerdir. Hız sınırlamaları, çeşitli hat hizalamaları, izin verilen maksimum yolculuk süresi ve tren kütlesindeki değişiklikler dikkate alınmış ve dakiklik ceza faktörü olarak modele dahil edilmiştir.

Son yıllarda, rejeneratif frenlemeli trenler yaygın olarak benimsenmiştir. Bunlar, trenlerdeki net enerji tüketimini azaltmak için frenlemeleri esnasında sahip oldukları kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilir. Rejeneratif enerji kullanımının verimliliği araştırılmış ve sonuçlar, hem frenleme yörüngesinin hem de zaman çizelgesinin, frenleme enerjisinin etkin kullanımına katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Lu vd. 2014). Bu sebeple tekli tren çalışmaları dışında çoklu tren benzetimleri de incelenmiştir. Erchao Chen ve arkadaşları (Chen vd. 2015), rejeneratif frenleme enerjisinden maksimum seviyede yararlanmak ve optimal çözümü sunmak amacıyla çoklu tren benzetimi geliştirmişlerdir. Bu model tekli tren hareketlerinde dikkate alınan tüm hat ve araç parametrelerini içermekte ve ayrıca hem hız profili hem de zaman çizelgesi optimizasyonu yapabilmek için yeterli donanımdadır. Shuai Su ve arkadaşları (Su vd. 2013) da benzer şekilde, ilgili tüm parametreleri dikkate alarak, ardışık istasyonlar arasında çalışan çoklu tren hareket modeli geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, bir raylı taşıtın hareketi, anlık hız, konum, ivme bilgileri ile cer gücü talebi, elektrikselsel güç talebi ve nihai enerji tüketimi gibi bilgilerin elde edilmesine olanak sağlayan, böylelikle gerçek bir raylı taşıtın hareketinin bilgisayar ortamında benzetilebildiği bir THB yazılımı geliştirilmiştir.

Çalışmalar sırasında İstanbul'daki raylı sistem ağına ait bir bölgeden gerçeğe uygun güzergâh ve yol karakteristik bilgileri alınmıştır. Bu bilgilerin benzetim modelinde uygulanması ile elde edilen test ortamı sayesinde benzetim ortamında koşutulan raylı taşıt ile gerçek ortamda koşutulan raylı taşıtın hız, konum, zaman ve enerji tüketimi bilgileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen veriler THB modelinin gerçeğe çok yakın bir performans gösterdiğini doğrulamaktadır.

2. Hareketin modellenmesi

Newton'un ikinci yarasını kullanarak trenin hareket denklemleri aşağıdaki biçimde yazılabilir (Keskin, 2016):

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F_{tr} - F_{br} - F_R \pm F_G - F_C - F_T}{M(1 + \beta)} \quad (2)$$

burada x ve v sırasıyla trenin konumu ve hızıdır. F_{tr} cer (taction effort) kuvveti, F_{br} fren (braking effort) kuvveti, F_R temel hareket direnci, F_G seviye değişikliğinin neden olduğu direnç (gradyan direnci), F_C kavisli raylarda kayma, sürünme ve sürtünmeye bağlı olarak tekerlek-ray arayüzünde enerji kaybı nedeniyle eğri direncini, F_T tünel direnci, M trenin kütesini ve β kütle düzeltme faktörü (rotating mass) ifade eder.

Daha sonrasında, i ve $i + 1$ istasyonları arasındaki mesafe X_i ile izin verilen seyahat süresi T_i ile ve izin verilen maksimum hız T ile ifade edilmiştir. Bu nedenle i ve $i + 1$ istasyonları arasında bu parametreler aşağıdaki limitlerle sınırlandırılmıştır:

$$\begin{aligned} 0 &\leq x \leq X_i \\ 0 &\leq t \leq T_i \\ 0 &\leq v \leq V \end{aligned} \quad (3)$$

Trenin temel hareket direnci, F_R , Davis denklemi kullanılarak hesaplanabilir (Rangelov, 2012):

$$F_R = A + BV + CV^2 \quad (4)$$

- A boji yapısına, aks yüküne ve ayrıca doğal mekanik sürtünmeye bağlı olarak statik ve dinamik direnç $[N]$
- B ray ve tekerlek arasındaki kenar sürtünmesi, süspansiyon sönümlenmesi, ayrıca 2.dereceden olmayan hava sürtünme direncinin ve sürtünmesinin bir kısmı, örneğin hava momentumu $\left[N \cdot \frac{s}{m}\right]$
- C Trenin önündeki ve arkasındaki aerodinamik direnç, ek türbülans etkisi $\left[N \cdot \frac{s^2}{m^2}\right]$
- V Trenin hızı $\left[\frac{m}{s}\right]$

A , B ve C terimleri sabit katsayılar olup test yoluyla elde edilebilmekle birlikte treni üreten firmadan da doğrudan talep edilebilir. Burada gerçek bir işletme altında ilgili araçlar ile testler yapılarak elde edilmiştir.

İniş ve çıkışlardan kaynaklı gradyan direnci ise aşağıdaki formülden elde edilir (Rangelov, 2012):

$$F_G = M(1 + \beta)g \sin \alpha \quad (5)$$

g yerçekimi ivmesi ve M trenin boş kütesidir. Eğer aracın dönme ataletinden kaynaklı kütle artışı bilinmiyorsa, kütle $(1 + \beta)$ katsayısı ile çarpılarak aracın hareket halindeki boş kütesine yaklaşım sağlanabilir. β değeri genellikle trenin tipine ve cer sistemine bağlı olarak 0.06 – 0.11 arasında değer alır. Burada dönme kütesindeki ilave artış araç üretici firmasından temin edilerek boş kütleyle ilave edilmiştir. Kavisli raylarda kayma, sürünme ve sürtünme tekerlek-ray arayüzündeki enerji kaybı nedeniyle oluşan eğim direnci aşağıdaki formülden elde edilir (Su vd. 2016):

$$\begin{aligned} F_C &= 12,2 \cdot \left(\frac{a^0}{x_{cr}}\right) & x_{cr} &\geq l_t \\ F_C &= 12,2 \cdot \left(\frac{a^0}{l_t}\right) & x_{cr} &\leq l_t \end{aligned} \quad (6)$$

a^0 eğrinin açısı uzunluğu (derece), x_{cr} eğrinin doğrusal uzunluğu m ve l_t trenin uzunluğunu belirtmektedir. Tren tünel içine girdiğinde gelen ilave direnç kuvveti ise aşağıda verilen formülden elde edilebilir (Su vd. 2016):

$$F_T = 0,00013 \cdot l_{tu} \quad (7)$$

l_{tu} tünel uzunluğudur. Eğer trenin uzunluğu l_t tünel uzunluğundan büyük ise $F_T = 0,00013 \cdot l_t$ olarak tünel direnci hesaplanabilir.

Cer ve frenleme kuvvetleri tren üretici firmasından temin edilen orijinal eğriler temel alınarak modellenmelidir. Şekil 1, modellenen trenin orijinal cer ve frenleme eğrilerini göstermektedir. Hat boyunca düşük gerilim durumu olmadığı düşünülerek nominal gerilim aralığı altında cer ve frenleme kuvvetleri (mavi çizgili) formüle edilmiştir:

$$F_T = \begin{cases} 59,31 & v < 46,11 \\ 0,02048 \cdot v^2 - 3,319 \cdot v + 168,29 & 46,11 \leq v < 60 \\ 0,00893 \cdot v^2 - 1,7867 \cdot v + 118,17 & 60 \leq v \leq 80 \end{cases} \quad (8)$$

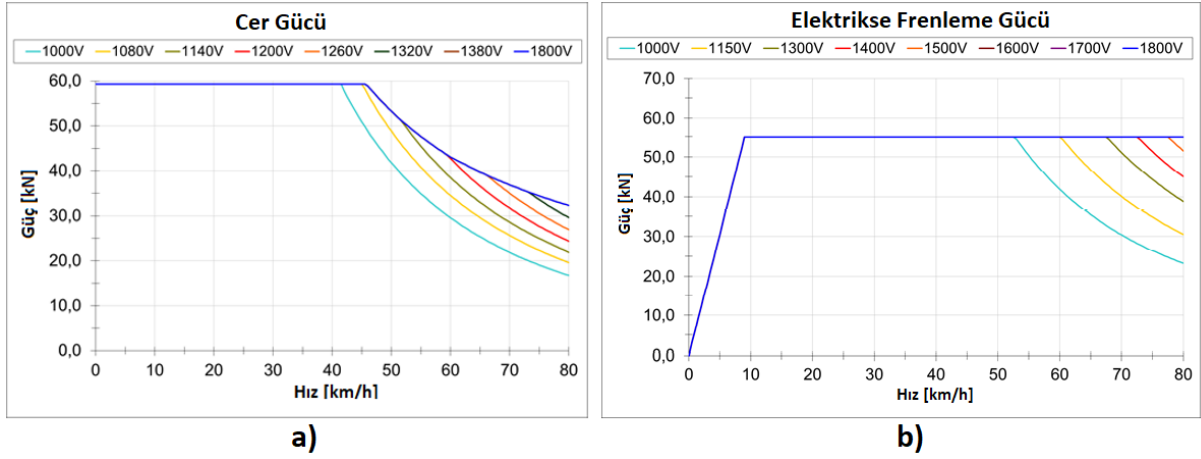
$$F_B = \begin{cases} 6,0024 \cdot v - 0,01 & v \leq 3,33 \\ 6,544 \cdot v - 1,813 & 3,33 < v \leq 6,389 \\ 5,9132 \cdot v - 2,2204 & 6,389 < v \leq 8,889 \\ 54,783 & 8,889 < v \end{cases} \quad (9)$$

Cer ve frenleme kuvvet eğrilerine göre F_T ve F_B kuvvetleri Denklem 8 ve 9'daki gibi elde edilmiştir. Cer kuvveti ve trenin hızı göz önüne alındığında, mekanik güç, F_{mec} , aşağıdaki denklemden belirlenir:

$$P_{mec}(t) = F_t(t) \cdot v(t) \quad (10)$$

Mekanik güç Denklem 10 değerleri dikkate alındığında, bir yolculuğu gerçekleştirmek için gerekli olan enerji miktarı, E_c :

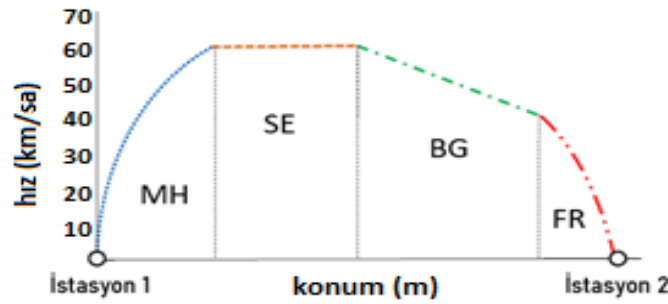
$$E_c = \int_0^T P_{mec}(t) dt \quad (11)$$



a) b)
Şekil 1. a) Cer ve b) fren kuvvetlerine karşı tren hızı

2.1. Tren hareket aşamaları

Bir trenin enerji tüketimi büyük ölçüde trenin hareketine bağlıdır. Düz bir hat için optimal bir tren işletimi sırasıyla aşağıdaki hareket aşamalarından oluşmalıdır: maksimum hızlanma (MH), seyir (SE), boşta gitme (BG) ve frenleme (FR).



Şekil 2. Örnek bir optimal tren hız profili

Birbirini takip eden iki istasyon arasında örnek bir sürüş senaryosu Şekil 2'de gösterilmektedir.

Sürekli zamanda sistem dinamiğini temsil eden diferansiyel Denklem 1'de, durum değişkenleri N adım için $[0, T]$ zaman aralığında ayrık zamana dönüştürülebilir (Keskin, 2016):

$$\begin{aligned} V_{k+1} &= V_k + a_k \cdot \Delta t \\ X_{k+1} &= X_k + \left(\frac{V_k + V_{k+1}}{2} \right) \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (12)$$

$$\forall k \in \{0, \dots, N\}$$

burada v_k , x_k , a_k sırasıyla k adımında trenin hızını, konumunu ve ivmesini gösterir. Δt adım boyutunu temsil eder:

$$\Delta t = \frac{T}{N} \quad (13)$$

$k \in \{0, \dots, N\}$ için, F_k ve v_k miktarları k -inci adımdaki anlık gücü belirler ve yolculuk boyunca toplam enerji tüketimi, her adımdaki tüketimlerin toplamıdır.

2.2. Maksimum hızlanma (MH)

Yolculuğun başlangıcından seyir aşamasının başlangıcına kadar trenin, yapışma (adezyon) limiti sınırı içinde maksimum ivmelenme ile hızlanması sağlanır. Buradaki anlık ivme değeri Denklem 2'den elde edilir.

2.3. Seyir (SE)

Bu aşamada tren yolculuğuna sabit bir hızla devam eder. Hızı sabit bir değerde tutmak için uygulanan cer kuvveti, tren hareketine karşıt kuvvetlere eşit olmalıdır. Güzergâhın yokuş yukarı ve yokuş aşağı bölümleri, cer gücü miktarına ya katkıda bulunur ya da ondan uzaklaşır. Dolayısı ile bu hareket aşamasında ivme değeri sıfırdır.

2.4. Boşta gitme (BG)

Boşta gitme aşamasında tren, hâlihazırda elde edilmiş momentum altında bir hat boyunca hareket eder ve hiçbir cer enerjisi tüketilmez. Bu aşama, tren güvenli durma mesafesine ulaşana kadar devam eder. Güvenli durma mesafesi, kalan mesafenin ve mevcut tren hızının bir fonksiyonudur. Güvenli durma mesafesi:

$$x_{ss}(t) = F_t(t).v(t) \quad (14)$$

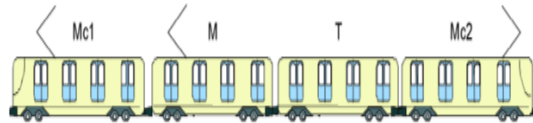
burada V_{br} , frenlemeye bağlı mevcut hızdır, a yavaşlama ivmesi ve x_{ss} , güvenli durma mesafesidir.

2.5. Frenleme

Bu aşamada trene hareket yönünün tersine sabit bir kuvvet uygulanır. Frenleme kuvvetinin büyüklüğü trenin özelliklerine bağlıdır. Enerji tüketiminin hesaplanmasında sadece cer gücünü dikkate aldığımız için frenleme aşamasında toplam enerji tüketimine katkısının olmadığı varsayılır.

3. Araç ve hat parametreleri

Geliştirilen modelin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla, Metro İstanbul A.Ş. işletmesinde bulunan M3 Hattı ve bu hatta çalışan trenler gerçek parametreleriyle modellenmiştir. Şekil 3, bu hat üzerinde çalışan tren dizisini göstermektedir.



Şekil 3. M3 metro hattında çalışan alstom araç dizisi

Her biri 1 enerji tedarik sistemi (Tahrik Ünitesi) bulunan 2 adet sürücü vagon (Mc1 + Mc2), 1 adet motorlu ve 1 adet de taşıma (T) vagonundan oluşmaktadır. Trene ait diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Her bir motorlu vagonunda 4 adet nominal değeri 150 kW olan asenkron cer motoru bulunmaktadır.

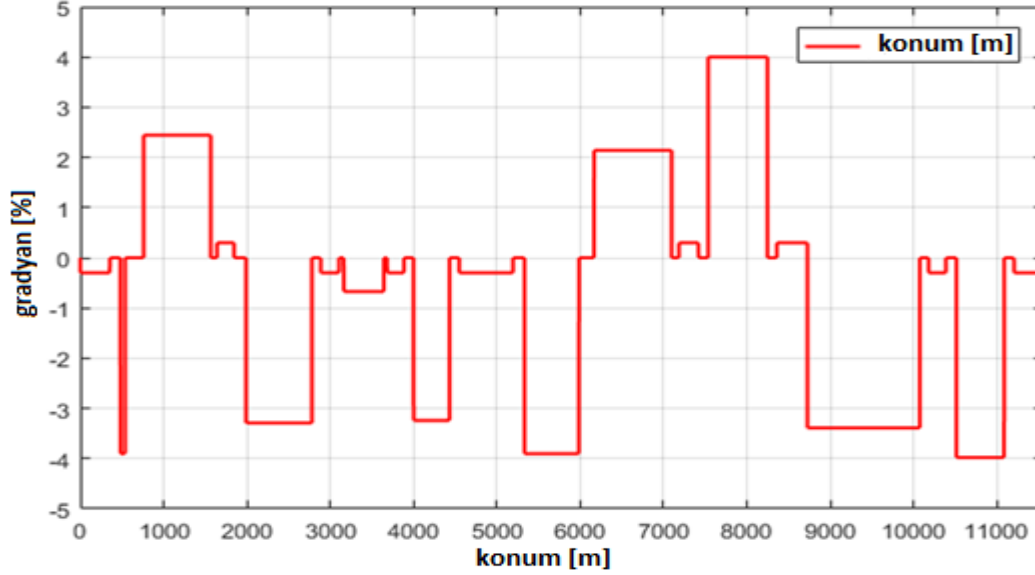
Tablo 1. Alstom aracı nominal performans değerleri

Maksimum Adezyon	%0,16
Maksimum Hız	88 km/h
Maksimum İşletme Hızı	80 km/h
Başlangıç İvmesi (0-40 km/h)	1,10 m/s ²
Ortalama İvme (0-80 km/h)	0,89 m/s ²
Maksimum Frenleme İvmesi	1,04 m/s ²

M3 Hattı Şekil 4'te görüldüğü üzere 9 adet istasyondan oluşmakta olup hat ile ilgili gradyan bilgileri Şekil 5'te ve kurp bilgileri ise Tablo 2'de paylaşılmıştır.



Şekil 4. M3 metro hattı istasyon bilgileri



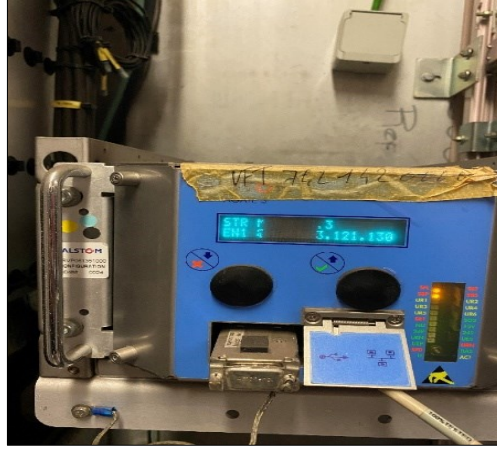
Şekil 5. M3 metro hattı gradyan (inişli-çıkışlı yol) bilgileri

Tablo 2. M3 metro hattı kurp bilgileri (güzergah boyunca dönemeçler)

Mesafe Aralığı (m)	Kurp Yarıçapı (m)	Kurp uzunluğu (m)	Açı (derece)
376-1031	405	654	92,52
1103-1646	405	543	76,81
1849-2481	460	630	78,47
2555-2890	460	335	41,72
3209-3682	720	473	37,64
3891-4407	460	516	64,27
5202-5804	420	600	81,85
5871-6902	800	1030	73,76
7624-8362	780	738	54,21
8778-9471	824	693	48,18
9640-10181	1052	541	29,46
10397-10785	374	388	59,44
10899-11211	375	312	47,67

4. THB modelinin doğrulanması

Geliştirilen tren hareket benzetimi modelinin doğruluğunu ölçmek amacıyla M3 hattında, gece işletmenin olmadığı saat aralığında, daha önceden belirlenen hızlanma profillerinde araç sürüşleri makinist kontrolünde yapılmıştır. Sürüşe ait tüm bilgiler (hızlanma, yavaşlama, mesafe, enerji tüketimi vb.) Şekil 6'da verilen Alstom aracına ait ölçüm cihazından bilgisayar ile bağlanılarak alınabilmektedir. Bu doğrultuda farklı sürüş mod bileşimlerine dayanan 3 adet test yapılmıştır. İlk testte MH + BG + FR, ikinci testte MH + FR ve üçüncü testte ise MH + SE + BG + FR kullanılarak testler yapılmıştır.



Şekil 6. Alstom aracında bulunan ölçüm cihazı

4.1. M3 hattı Siteler-Turgut Özal istasyonları arası sürüş testi-1

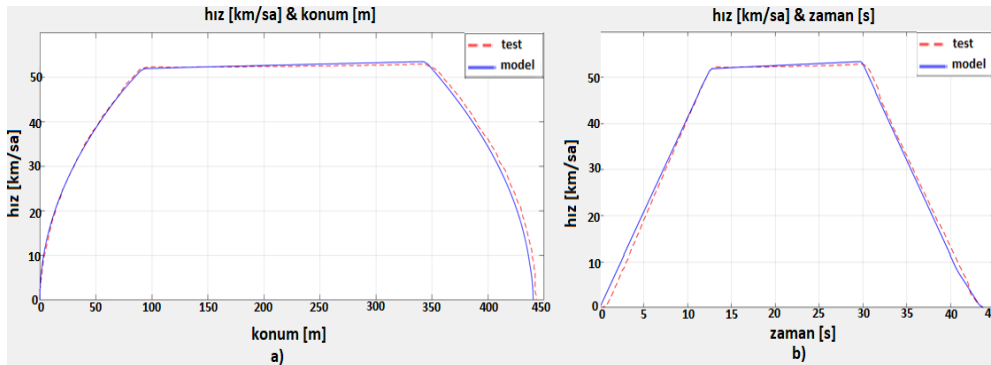
İlgili sürüşe ait bilgiler Tablo 3'te verilmiştir. Ölçüm cihazından alınan bilgiler doğrultusunda bu sürüşte makinist 90 metre boyunca tam cer kuvveti ile hızlanarak 12,75 saniye içinde 51,9 km/h hıza ulaşmış ardından 17,5 saniye boyunca 254 metre yol alarak boşta gitme fazına geçmiş ve ardından tam frenleme kuvveti ile 99 metre sonra 15 saniye içinde durmuştur.

Geliştirilen tren hareket benzetim modeline girilen veriler şu şekildedir: 0-90 metre boyunca maksimum cer kuvveti ile hızlan, 90-344 metre arasında boşta gitme fazı ardından tam frenleme kuvveti uygulanarak duruş. Gerçek tren hareketi ile benzetim hareketlerinin karşılaştırılması Şekil 7'de sunulmuştur.

Tablo 3. Siteler-Turgut Özal istasyonları arası test -1

Parametreler	MH Fazı	BG Fazı	FR Fazı
Başlangıç Zamanı	02:08:40	02:08:53	02:09:10
Bitiş Zamanı	02:08:51	02:09:09	02:09:24
Süre (sn)	12,75	17,5	15
Mesafe (m)	90	254	99
Ulaşılan Hız (km/h)	51,9	52,9	0

Şekil 7'de görüldüğü üzere modellenen tren, gerçek tren hareketini küçük sapmalar ile benzetebilmiştir. Tablo 4'te gerçek tren ile modellenen tren hareketi arasında detaylı kıyaslama yapılmıştır. Tablo 5'te ise modelin gerçek tren hareketine göre hata oranları verilmiştir.



Şekil 7. a) Model & Gerçek hız-konum karşılaştırması test-1 b) Model & Gerçek hız-zaman karşılaştırması test-1

Tablo 4. Model doğruluk kıyaslaması -1

	Gerçek Tren Hareketi	Modellenen Tren Hareketi
Maks. cer gücü ile gidilen mesafe (<i>m</i>)	90,00	90,00
Maks. cer gücü ile hareket süresi (<i>sn</i>)	12,75	12,53
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız (<i>km/sa</i>)	51,90	51,33
Frenleme mesafesi (<i>m</i>)	99,00	96,4
Boşta gitme süresi (<i>sn</i>)	17,5	17,3
Boşta gitme sonunda ulaştığı hız (<i>km/sa</i>)	52,9	52,7
Toplam enerji tüketimi (<i>kWsa</i>)	4,98	4,76

Tablo 5. Model hata oranları -1

	Hata miktarı (%)
Maks. cer gücü ile hareket süresi	1,72
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız	1,09
Frenleme mesafesi	2,62
Boşta gitme süresi	1,14
Boşta gitme sonunda ulaştığı hız	0,37
Toplam enerji tüketimi	4,42

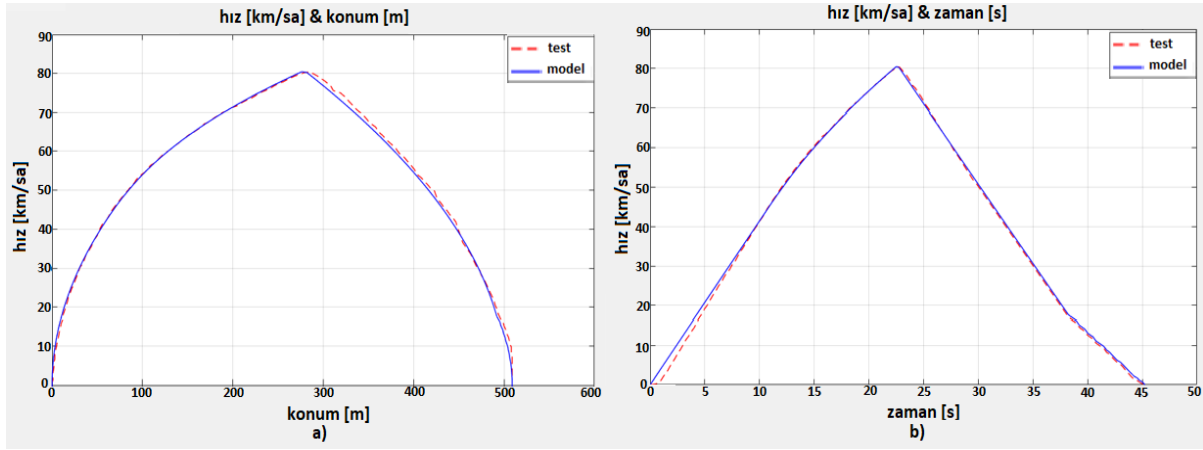
4.2. M3 hattı Siteler-Turgut Özal istasyonları arası sürüş testi -2

Aynı güzergâh üzerinde farklı bir hareket modunda yeniden tren sürülmüştür. Bu sürüşe ait bilgiler aşağıdaki Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Siteler-Turgut Özal istasyonları arası test -2

Parametreler	MH Fazı	FR Fazı
Başlangıç Zamanı	01:20:54	01:21:17
Bitiş Zamanı	01:21:16	01:21:36
Süre (<i>sn</i>)	22,5	20,25
Mesafe (<i>m</i>)	279	230
Ulaşılan Maksimum Hız (<i>km/h</i>)	80,2	0

Bu sürüş profilinde makinist 279 metre boyunca maksimum cer kuvveti ile hızlanarak 80,2 km/h hıza ulaşmış ve ardından maksimum frenleme kuvveti ile durarak hareketini tamamlamıştır. Geliştirilen modele benzer şekilde aynı veriler girilerek çalıştırılmış ve sonuçlar Şekil 8’de paylaşılmıştır.



Şekil 8. a) Model & Gerçek hız-konum karşılaştırması test-2 b) Model & Gerçek hız-zaman karşılaştırması test-2

Gerçek ve benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, geliştirilen modelin gerçek bir tren hareketini yüksek doğruluk oranı ile benzetebildiği görülmektedir. Tablo 7’de detaylı kıyaslama paylaşılmıştır.

Tablo 7. Model doğruluk kıyaslaması -2

	Gerçek Tren Hareketi	Modellenen Tren Hareketi
Maks. cer gücü ile gidilen mesafe (m)	279,00	279,00
Maks. cer gücü ile hareket süresi (sn)	22,50	22,70
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız (km/sa)	80,20	80,14
Frenleme mesafesi (m)	230,00	230,34
Toplam enerji tüketimi ($kWsa$)	10,90	11,39

Modellenen tren hareketinin gerçek tren hareketine kıyaslanması sonucu elde edilen yüzdesel hatalar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Model hata oranları -2

	Hata miktarı (%)
Maks. cer gücü ile hareket süresi	0,89
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız	0,08
Frenleme mesafesi	0,14
Toplam enerji tüketimi	4,49

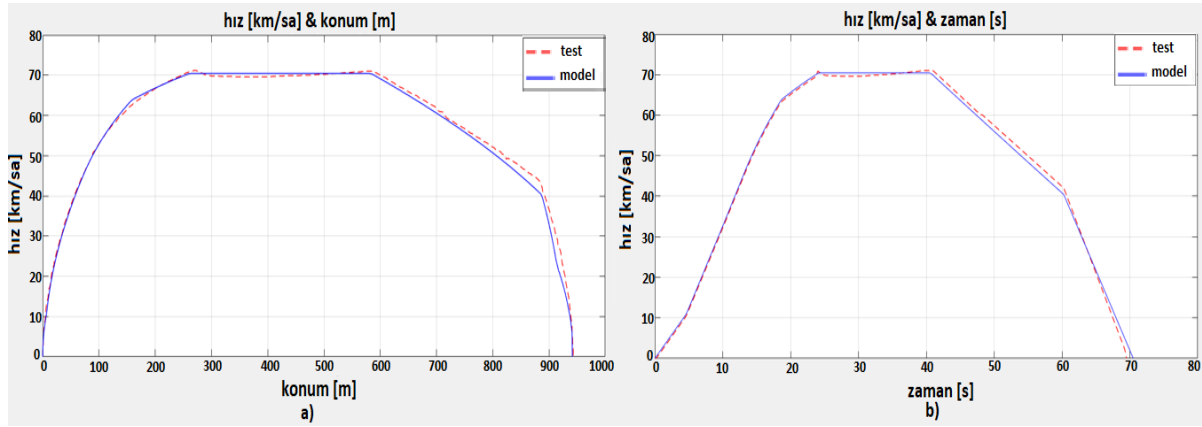
4.3. M3 hattı İstoç-Mahmutbey istasyonları arası sürüş testi -3

İstoç - Mahmutbey güzergâhı üzerinde farklı bir hareket modunda yeniden tren sürülmüştür. Bu sürüşe ait bilgiler de Tablo 9’da verilmiştir.

Bu sürüş profilinde makinist 262 metre boyunca maksimum cer kuvveti ile hızlanarak 70,9 km/h hıza ulaşmış ve ardından sırası ile yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere 321 metre sabit hızda gitme akabinde 305 metre boşta gitme fazlarını uygulayarak hareketini devam ettirmiş en sonunda ise maksimum frenleme kuvveti ile 55 metre içinde hareketini tamamlamıştır. Geliştirilen modele benzer şekilde ilgili veriler girilerek çalıştırılmış ve sonuçlar Şekil 9’da paylaşılmıştır.

Tablo 9. İstoç-Mahmutbey istasyonları arası test -3

Parametreler	MA Fazı	CR Fazı	CO Fazı	BR Fazı
Başlangıç Zamanı	02:36:41	02:37:03	02:37:20	02:37:38
Bitiş Zamanı	02:37:03	02:37:19	02:37:38	02:37:50
Süre (<i>sn</i>)	22,5	17	19,25	13
Mesafe (<i>m</i>)	262	321	305	55
Ulaşılan Maksimum Hız (<i>km/h</i>)	70,9	71	44,3	0



Şekil 9. a) Model & Gerçek hız-konum karşılaştırması test-3 b) Model & Gerçek hız-zaman karşılaştırması test-3

Gerçek ve benzetim sonuçları karşılaştırılması Tablo 10 ve gerçek tren sürüşüne kıyasla önerilen THB modelinin hata oranları da Tablo 11’de sunulmuştur.

Tablo 10. Model doğruluk kıyaslaması -3

	Gerçek Tren Hareketi	Modellenen Tren Hareketi
Maks. cer gücü ile gidilen mesafe (<i>m</i>)	262,00	262,00
Maks. cer gücü ile hareket süresi (<i>sn</i>)	22,50	22,75
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız (<i>km/sa</i>)	70,90	70,32
Boşta gitme süresi (<i>sn</i>)	19,25	20,00
Boşta gitme sonunda ulaştığı hız (<i>km/sa</i>)	44,30	41,58
Frenleme mesafesi (<i>m</i>)	55,00	55,33
Toplam enerji tüketimi (<i>kWsa</i>)	16,80	17,63

Tablo 11. Model hata oranları -3

	Hata miktarı (%)
Maks. cer gücü ile hareket süresi	1,10
Maks. cer gücü ile ulaşılan hız	0,81
Boşta gitme süresi	3,89
Boşta gitme sonunda ulaştığı hız	6,14
Frenleme mesafesi	0,6
Toplam enerji tüketimi	4,94

5. Sonuç

Enerji tüketiminin yüksek olduğu raylı ulaşım sistemlerinde enerji verimliliği çalışmaları hem ekonomiye hem de çevreye sunduğu katkıdan dolayı önemini korumaktadır. Hızlanma profili optimizasyonu gibi çalışmalar ile cer enerjisi tüketiminin azaltılması mümkün olmaktadır. Bu çalışmada enerji verimliliği optimizasyonu ve/veya benzer raylı taşıt optimizasyon problemlerinde kullanılacak, gerçek bir raylı taşıt hareketini yüksek hassasiyet ile bilgisayar ortamında gerçekleştirebilecek bir benzetim modeli sunulmuştur. Önerilen model ile raylı taşıta ait hız, konum ve zaman verileri tutulmaktadır. Çalışmalar sırasında Metro İstanbul A.Ş. işletmesine bağlı M3 metro hattında yer alan gerçek trenler kullanılarak farklı sürüş stratejileri altında testler yapılmıştır. Aynı test güzergâhlarının benzetim modelinde işlenmesi ile elde edilen veriler ile gerçek sürüş sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Toplam enerji tüketimi açısından bakıldığında benzetim ortamında yapılan test verileri ile gerçek ortamda yapılan test verileri yaklaşık olarak %96 hassasiyet ile örtüşmektedir. Bu sonuç önerilen modelin performansının yüksek olduğunu göstermektedir. Gelecekte yapılacak raylı taşıt optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik çalışmalarda, önerilen model büyük kolaylık sağlayacaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Metro İstanbul AŞ. tarafından YT210003 nolu “*Tren Hız Profillerinin Optimizasyonu ve Regeneratif Frenleme Enerjisinin Geri Kazanımı*” projesi kapsamında desteklenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Albrecht, A., Howlett, P., Pudney, P., Vu, X. and Zhou, P. (2015). The key principles of optimal train control—Part 1: Formulation of the model, strategies of optimal type, evolutionary lines, location of optimal switching points. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 94, pp. 482–508, 2016, doi: 10.1016/j.trb.2015.07.023

Arıkan, Y., Şen, T., ve Çam, E. (2020). A study of energy efficiency in rail vehicles. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol.7, no. 1, (223-235), 2020, doi: 10.31202/ecjse.622358

Cheng, J.X., and Howlett, P. (1993). A note on the calculation of optimal strategies for the minimization of fuel consumption in the control of trains. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 38, no. 11, pp. 1730–1734, Nov, 1993 doi: 10.1109/9.262051

Chen, E., Bu, B., ve Sun, W. (2015). An energy-efficient operation approach based on the utilization of regenerative braking energy among trains. *IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015*, doi:10.1109/ITSC.2015.419

- Hillmansen, S., and Roberts, C.** (2007). Energy storage devices in hybrid railway vehicles: A kinematic analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, vol. 221, pp. 135-143, Jan, 2007, doi:10.1243/09544097JRRT99
- Howlett, P.** (1996). Optimal strategies for the control of a train. *Automatica*, vol. 32, no. 4, pp. 519–532, 1996, doi: 10.1016/0005-1098(95)00184-0
- Hu, P., Chen, R. ve Li, H.** (2012). Train operation traction energy calculation and saving in urban rail transit system. *Second International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control, 2012*, doi: 10.1109/IMCCC.2012.125
- Keskin K. ve Karamancıoğlu, A.** (2016). Energy efficient motion control for a light rail vehicle using the big bang big crunch algorithm. *14-th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, Istanbul, 2016*, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.824
- Keskin, K. ve Karamancıoğlu, A.** (2017). Energy-efficient train operation using nature-inspired algorithms. *IFAC (International Federation of Automatic Control), 2017*, doi: org/10.1155/2017/6173795
- Lu, S., Weston, P., Hillmansen, S., Gooi, H. B. and Roberts, C.** (2014). Increasing the Regenerative Braking Energy for Railway Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, pp. 2506-2515, 2014, doi:10.1109/TITS.2014.2319233
- Mellitt, B., Goodman, C.J., and R. I. M. Arthurton, R.I.M.** (1978). Simulator for studying operational and power-supply conditions in rapid-transit railways. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 125, pp. 298-303, Apr, 1978, doi: 10.1049/piee.1978.0075
- Sanchis, I.V. ve Zuriaga, P.S.** (2016). An energy-efficient metro speed profiles for energy savings: application to the Valencia metro. *XII Conference on Transport Engineering, CIT 2016, 7-9 Jun. 2016, Valencia, Spain*, pp 226-233
- Rangelov, V.N.,** (2012). Gradient modelling with calibrated train performance models. *COMPRAIL*, vol: 127, 10.2495/CR120111, September 2012.
- Su, S., Li, X., Tang, T. ve Gao, Z.** (2013). A subway train timetable optimization approach based on energy-efficient operation strategy. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, vol. 14, no. 2, june 2013, doi:10.1109/TITS.2013.2244885
- Su, S., Tang, T., ve Wang, Y.** (2016). Evaluation of strategies to reducing traction energy consumption of metro systems using an optimal train control simulation model. *Article in Energies*, February 2016, doi: org/10.3390/en9020105
- Wang, W., Zeng, X., Shen, T. ve Liu, L.** (2018). Energy-efficient speed profile optimization for urban rail transit with considerations on train length. *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, Hawaii, USA, Nov.4-7, 2018*

Araştırma Makalesi

Kent Ulaşımında Mikromobilité Çözümlerine Lokasyon Analitiği Yaklaşımı

Gözde Karahan^{1*}, Ceren Kurtuluş², Elif Garagon³

^{1,2,3} Department of Urban and Regional Planning, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey

*Correspondence: gzkarahan@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.1079294

Özet: Kentsel hareketlilikte mikromobilité çözümleri günümüzde hem ekonomik ve çevresel faydaları hem de kullanıcıya sağladığı kolaylıklar sebebiyle önemini ve popülerliğini gittikçe artırmaktadır. Bu çalışmada bir mikromobilité aracı olan e-scooterlar, kent içinde e-scooter kullanıcılarının tercihleri ve e-scooterlar ile ilgili Türkiye ve İstanbul'daki yasal düzenlemeler incelenmiştir. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri ve lokasyon analitiği farklı ölçeklerde e-scooter ihtiyaçlarının belirlenmesi, esnek ve uygulanabilir altyapı planlanması, uygun kent politikalarının geliştirilmesi için önemli araçlar olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmayla İstanbul kent ulaşımında, kullanıcı tercihlerini dikkate alarak hem hizmet sağlayan firmalara hem de kamu kurumlarına stratejik kararlarında kullanabilecekleri bir ürün oluşturmak hedeflenmiştir. Bu amaçla, Maptriks Lokasyon Analitiği Sistemi kullanılarak İstanbul E-Scooter Parklanma Modeli oluşturulmuştur. Bu model kurgulanırken yapılan literatür araştırması ve ilgili yasal düzenlemeler dikkate alınmış ve Maptriks Veri Bankası'ndan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu çalışma ile İstanbul için e-scooterlar için yasal park yeri bölgeleri belirlenmiş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile lokasyon analitiğinin uygulamada sağlayabileceği avantajlar ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylece henüz yeni sayılabilecek olan e-scooter çalışmaları ve pazarı için öncül bir rehber oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kent içi ulaşım, mikromobilité, lokasyon analitiği

Location Analytics Perspective on Micro-Mobility Solutions in Urban Transport

Abstract: The importance and popularity of micro-mobility solutions in urban mobility are increasing. In this study, e-scooters, which is a micro-mobility tools, were focused on. The preferences of e-scooter users in the city and the legal regulations regarding e-scooters in Turkey and İstanbul were examined. In the study, Geographical Information Systems and location analytics stand out as significant tools to identify the deficiencies of e-scooter use and generate solutions. The solutions that we revealed in the study can be used for the planning of flexible and applicable infrastructure and the development of urban policies. This study, it is aimed to create a product that can be used in the strategic decisions of both service providers and public institutions, considering the preferences of micro-mobility users in İstanbul. For this purpose, the İstanbul E-Scooter Parking Model was created using the Maptriks Location Analytics System. While creating this model, a literature review and relevant legal regulations were used to determine the usage areas and restricted areas. With this study, legal parking areas for e-scooters have been determined for İstanbul and the advantages that Geographical Information Systems and location analytics can provide in practice have been revealed. Thus, a preliminary guide was created for the e-scooter studies and market.

Keywords: Urban transportation, micro-mobility, location analytics

* Corresponding author.

E-mail address: gzkarahan@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9061-2972, 0000-0001-9966-3311, 0000-0002-7423-3988 (in hierarchical order)

Received 01/03/2022; accepted 28/02/2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Mikromobilite kavramı; ilk ve son kilometre yolculuklarını kapsayan, kısa mesafe seyahat seçenekleri sağlamayı amaçlayan, sürdürülebilir, uygun maliyetli ve yenilikçi bir kentsel ulaşım türü olarak tanımlanabilmektedir (Shaheen ve diğ., 2020). Kentsel hareketliliğe yeni bir yaklaşım sunan paylaşımlı hareketlilik sistemleri ise kent içi trafik sıkışıklıklarının hafifletilmesinde yardımcı çözümler arasındadır. Mikromobilite çözümleri, hızı saatte 45 km'yi aşmayan bisiklet, kayak, elektrikli scooter gibi mini araçları kapsamaktadır. Kısa mesafeli seyahatlerde tercih edilmesi ile özel araç kullanımını azaltan etkisinin yanında, daha az karbon salınımına sebep olmakta ve sürdürülebilir ulaşım modlarına geçişi kolaylaştırmaktadır (Abduljabbar ve diğ., 2021).

Günümüzde trafikle artan kentsel problemler ve çevreye karşı duyarlılığın artmasının bir sonucu olarak mikromobilite çözümleri birçok ülkede günden güne daha çok tercih edilmektedir (Eccarius ve Lu, 2020). Değişen ihtiyaçlar ise bu alandaki gelişmelerin ve politikaların önemini artırmaktadır. Mikromobilite teknolojilerinin hızla yayılması göz önüne alındığında, şehirlerdeki hizmetlerin başarılı bir şekilde planlanması ve uygulanması için etkili stratejilere ihtiyaç olduğu görülmektedir (Riggs ve diğ., 2021).

Mikromobilite hizmetleri etkin bir şekilde yönetilir ve dağıtılırsa zaman tasarrufu, enerji tasarrufu, daha düşük seyahat maliyetleri ve kullanıcılar için tercih edilebilir seyahat deneyimi ortamı sağlanabilmektedir (Zakhem ve Smith-Colin, 2021). Bu sebeple birçok Dünya ülkesinde kamusal alanda mikromobilite çözümlerine dair politikalar üretilmekte ve hayata geçirilmektedir (Riggs ve diğ., 2021). Türkiye'de de mikromobilitenin geleceği için benzer politikalara ihtiyaç duyulmaktadır. İBB'nin girişimiyle pilot bölge olarak seçilen Kadıköy'de kurulacak olan mikromobilite park alanları girişimleri, Türkiye'de mikromobiliteye yönelik atılmış önemli bir adımdır. Planlanan e-scooter park alanları ile birlikte kent sakinlerinin e-scooter park sorununa alternatif bir çözüm getirilmesi hedeflenmektedir (Url 1).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımı ise hem hizmet sağlayıcıların hem kullanıcıların hem de kentteki politika üreticilerinin mikromobilite araçlarından maksimum şekilde faydalanabilmesi ve bu araçların doğru yönetilebilmesi için gerekli çözümleri sağlayabilmektedir.

Çalışma kapsamında, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve lokasyon analitiğinin gücünden yararlanılarak hem hizmet sağlayıcıları ve kullanıcıların hem de kentteki politika üreticilerinin mikromobilite araçlarından maksimum şekilde faydalanabilmesi ve bu araçların doğru yönetilebilmesi için çözümler üretilmesi amaçlanmıştır. Türkiye'deki toplam e-scooter sayısı bilinmemekle birlikte, Dünya örneklerinde yerleşimlerde bulunacak e-scooter sayısı nüfusa oranlanarak belirlenmektedir. Türkiye'de de "Elektrikli Skuter Yönetmeliği (2021)" ile aynı uygulama takip edilmiştir.

Bu kapsamda en fazla e-scooterın İstanbul'da olacağı tahmin edilmektedir. UKOME'ye göre İstanbul'da 30 bin civarında e-scooter olduğu tahmin edilmektedir (Url 2). Bu sebeple örnek çalışma alanı olarak İstanbul belirlenmiştir.

2. Yeni mikro mobilite: E-scooter

Mikro mobilite çözümlerinde son zamanlarda öne çıkan araçların başında e-scooterlar gelmektedir (Gössling, 2020). Kişisel e-scooterlar 2000'li yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Kamuya açık e-scooterlar ise 2017 yılında ABD'de paylaşımlı mobilite sistemi çözümleri olarak kullanılmaya başlanıp, tüm dünyaya hızla yayılmıştır (Yang ve diğ., 2020). Paylaşımlı bisikletlerin aksine fiziksel çaba ve beceri gerektirmemesiyle öne çıkan e-scooterlar, belirli bir istasyondan alma ve bırakma gibi mekân sınırları olmadığı için daha esnek bir kullanım yapısına sahiptir (Caspri ve diğ., 2020). Paylaşımlı e-scooterlar 2018 yılından bu yana kent merkezlerinde ve üniversite kampüslerinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Zakhem ve Smith-Colin, 2021). Sadece bir yıl içerisinde değeri 1 milyar doların üstüne çıkan e-scooter şirketleri yüzden fazla şehirde faaliyet göstermeye başlamıştır (Lee ve diğ., 2021). Türkiye'de de 2019 yılında bir firma ile başlayan e-scooter pazarında, günümüzde pek çok girişim kullanıcılara hizmet sağlamakta ve e-scooterların kullanıldığı şehir sayısı hızla artmaktadır (Sarıışık ve Ercoşkun, 2021).

Şehir içinde sayısı ve kullanıcısı arttıkça, e-scooter kullanımının, hem sürüş aşaması hem de parklanma aşaması ile mevcut altyapı planlamasında ve gelecek stratejik kararların alınması sürecinde dikkate

alınması gerekmektedir. Bu kararların alınması ve uygulanması entegrasyon için önemli olmakla birlikte, güvenlik için vazgeçilmezdir.

Mikro mobilite çözümleri özellikle e-scooterlar için yaşanan güvenlik endişeleri nedeniyle eleştirilebilmektedir. E-scooterların artışına bağlı olarak gerçekleşen yaya yaralanmalarının da arttığı (Sikka ve diğ., 2019), şehirlerin mevcut altyapısının güvenlik açısından e-scooterlara uygunluğunun sorgulandığı, kaldırılma parkların artmasıyla sürücü ve yaya trafiğinin tehlikeye girdiği (Sarıışık ve Ercoşkun, 2021) görülmektedir. Bu endişeler göz önüne alındığında, e-scooterlar ile ilgili hayata geçirilecek politikalarda kamu güvenliğini iyileştirmek için etkin politika arayışlarına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir (Traynor ve diğ., 2022).

2.1. E-scooter kullanıcı tercihleri

E-scooter kullanımı yakın zamanda trend haline gelmiş bir ulaşım örneği olduğu için bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar ve araştırmalar erken bir aşamadır. Buna rağmen tüketici tercihlerini anlamaya yönelik yapılan araştırmalar giderek artmaktadır (Laa ve Leth, 2020; McKenzie, 2019; Sarıışık ve Ercoşkun, 2021; Smith ve Schwieterman, 2018). Bu alanda yapılan çalışmalar, hem hizmet sağlayıcı firmaların e-scooter konumlandırmalarına hem de kamu kurumlarının altyapı ihtiyaçlarını belirlemelerine ışık gösterecek niteliktedir.

Zhang ve diğerleri (2021)'ne göre; kullanıcılar bisiklet yolları gibi daha basit ve kısa yolları tercih etmekte, tek yönlü yollar ve üçüncül yolları daha az tercih etmektedir. E-scooterların teknik özellikleri nedeniyle daha az dönüşlü yollar tercih edilirken, bisiklet ile kıyaslandığında daha iyi performans göstermesi ve fiziksel çaba gerektirmemesi nedeniyle kullanıcılar tarafından daha engebeli yollarda da tercih edilebilmektedir. Hafif ve küçük bir araç olması nedeniyle kaldırım ve sokaklar arasında geçiş yapmayı kolaylaştırırken, kullanıcılar lastik boyutları nedeniyle çakıl ve tümseklerin olduğu yollardan kaçınma eğilimindedir (Zhang ve diğ., 2021).

Genelde öğleden sonra ve akşam saatlerinde kısa mesafeli işler yapmak ve eğlence mekanlarına ulaşım için kullanılan e-scooterlar, sabahları işe gidiş saatlerinde de yoğun olarak kullanılmakta ve çocuğu olmayan aileler tarafından daha çok tercih edilmektedir (McKenzie, 2019). Daha çok şehir merkezlerinde ve üniversite kampüslerinde kullanılan e-scooterların bu özelliği ile hane halkı arasında özellikle araçsız olan nüfusu arttırmada etkili olabileceği düşünülmektedir (Bai ve Jiao, 2000). Çoğunlukla gençlerin tercih ettiği e-scooterların diğer seyahat modları ile kıyaslandığında, kısa mesafeli yolculuklarda daha yüksek verimliliğe sahip oldukları görülmüştür (Yang ve diğ., 2020). Kullanıcılar e-scooterları tek başına bir ulaşım aracı olarak kullanmak yerine, ulaşım sistemleri arasında bir geçiş aracı olarak kullanmayı tercih etmektedir (Sarıışık ve Ercoşkun, 2021). Bu nedenle, işe geliş gidiş gibi aktivitelerde başvuru tek ulaşım modu olarak değil, sıklıkla son kilometre çözümü olarak kullanılmakta ve nispeten kısa yollarda tercih edilmektedir (Caspi ve diğ., 2020; Reck ve diğ., 2020). Benzer şekilde rota üzerinde bisiklet şeridi veya otobüs durağı gibi alanların olması ile e-scooter kullanımı arasında pozitif bir ilişki vardır (Li ve diğ., 2018; Caspi ve diğ., 2020). Bu durum, insanların e-scooter ve otobüs yolculuklarını birbirine bağlama eğiliminde olduğunu kanıtlamaktadır.

E-scooter kullanımını tercih eden nüfusun sosyo-ekonomik statüsü incelendiğinde, görece daha düşük gelir grubunda oldukları ve eğitim düzeylerinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Bai ve Jiao, 2020). Kullanıcıların tercihleri göz önünde bulundurularak başta sokak düzeyindeki e-scooter ihtiyaçları belirlenebilir ve böylece şehirlerin politikalar geliştirmesine, esnek ve uyarlanabilir altyapı planlanmasına yardımcı olunabilir. Ayrıca coğrafi bilgi sistemleri ve lokasyon analitiği kullanılarak üretilen bir talep modeli ile firmalar da ihtiyaçları daha iyi belirleyebilecektir.

2.2 E-scooter kullanımında kısıtlar

Kent içi ulaşımında e-scooter kullanımını sadece kullanıcıların talepleri değil, kent yönetimlerinde getirilen çeşitli kısıtlar ve kurallar da yönlendirmektedir. Paylaşımlı elektrikli scooterların dünya çapında yaygınlaşması kentsel hareketlilik için yeni fırsatlar yaratırken, kamusal alanda getirdiği yeni alışkanlıklar ve çatışmalar, yasal sınırlara da ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur (Tuncer ve Brown, 2020). Bu yasal sınırların takibi de ihtiyaç ve talebin belirlenmesi kadar hassas bir konudur.

Yurtdışında başta yaş ve hız sınırları olmak üzere kısıtları ve kullanım alanlarını belirleyen düzenlemeler bulunmaktadır. Türkiye'de ise Nisan 2021'de Ulaştırma ve Altyapı, Çevre ve Şehircilik

ile İçişleri Bakanlıkları tarafından yayınlanan “Elektrikli Skuter Yönetmeliği (2021)” ile e-scooterların bisiklet yolu varken karayolunda sürülmesi, azami hız sınırı 50 km/s üzerinde olan karayollarında sürülmesi ve yaya yollarında sürülmesi yasaklanmıştır. Ayrıca e-scooter kullanabilmek için 15 yaşını bitirmiş olma zorunluluğu ve 25 km/s hız sınırı getirilmiştir. Bunun haricinde yönetmelik şehirlerde bulunabilecek e-scooter sayılarına, nüfusa bağlı oranlarla kısıtlama getirmiştir.

İstanbul için ayrıca Haziran 2021’de İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Koordinasyon Merkezi (UKOME) tarafından “E-scooter Yönergesi (2021)” yayınlanmıştır. E-scooter yönergesine göre; İstanbul’da mevcutta yaklaşık 30 bin adet bulunduğu tahmin edilen, e-scooter sayısının maksimum 75 bin olacağı belirlenmiştir. UKOME kararı ile Cumhurbaşkanlığı’na ait binalara 100 metre mesafe içerisinde, askeri güvenlik ve yasak bölgeleri sınırlarına 10 metre mesafe içerisinde, emniyet birimlerine ait binalar, diplomatik temsilciliklere ait binalar ve cezaevlerinin giriş-çıkış kapılarına 20 metre mesafe içerisinde, saray ve kasırların duvarlarına, tarihi surlar ve kapılara, sağlık kurumlarının giriş-çıkışlarına, okul giriş-çıkışlarına, itfaiye binalarının giriş-çıkışlarına, kamu binalarının giriş-çıkışlarına, yaya geçitlerine, engelli rampalarına, engelli yolları üzerine, toplu taşıma duraklarına ve yangın musluklarına e-scooter park edilmesi yasaklanmıştır.

3. E-scooter parklanma modeli

İstanbul’da daha güvenli ve sağlıklı e-mobilite uygulamaları ve kullanımı için Coğrafi Bilgi Sistemleri ile çözümler üretilmesi önemlidir. E-scooterlar için hem sürüş hem de parklanma ayrı ayrı ele alınması gereken problemlerdir. Bu çalışmada parklanma çözümlerine odaklanılmıştır.

Yapılan çalışmada lokasyon analitiği, Maptriks Veri Bankası, akademik çalışmaların çıktuları ve coğrafi bilgi sistemlerinin entegre edilmesiyle daha yerinde kararlar verebilmeyi sağlayan, lokasyona dayalı e-scooter parklanma modeli ortaya çıkarılmıştır.

Maptriks, müşterilerinin iş ve karar süreçlerine patentli coğrafi bilgi sistemleri altyapısı ve nitelikli analitik ekibi ile dahil olarak yönetimsel kararlar almalarını sağlayan bir firmadır. Bu sayede firmaların ve kurumların gelirlerini maksimize ve maliyetlerini optimize etmelerine destek olmaktadır. Maptriks, 12 yıllık lokasyon analitiği tecrübesi pek çok sektörde başarı hikayeleri üretmiştir ve önde gelen teknolojisi ve güçlü veri bankasının sayesinde mikromobilite de dahil olmak üzere pek çok alanda lokasyon temelli sorulara analitik cevaplar sağlamaktadır.

Firmaların e-scooterlar için parklanma alanlarını doğru belirleyebilmesi, belediyelerin de yönlendirme ve takip süreçlerini kolaylıkla yürütebilmesi için dikkate alınması gereken iki konu belirlenmiştir. İlki kullanım talebinin yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi, ikincisi de e-scooterlar için yasal ve fiziksel kısıtların dikkate alınmasıdır. E-scooter parklanma modeli kurgulanırken literatür taraması ve kamu kurum yönetmelikleri dikkate alınmış olup, model sonucunda İstanbul geneli için optimum e-scooter parklanma alanları tespit edilmiştir. Doğru alanların tespiti için 250 m x 250 m büyüklüğünde grid alanlar tanımlanarak bu alanlarda mekânsal analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde potansiyel kullanıcı yoğunluğu ve yasal kısıtlar dikkate alınmıştır.

E-scooter parklanma modeli için kullanıcı potansiyeli belirlenirken literatür taramasında belirlenen parametrelerden yararlanılmıştır. İstanbul için oluşturulan parklanma modelinde kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi ara yüzü Maptriks tarafından sağlanmıştır. Kullanılan veriler Maptriks tarafından Coğrafi bilgi sistemleri ara yüzüne entegre edilmiştir.

E-scooter kullanımı üzerine yapılan çalışmalardan hareketle kullanım amaçlarının farklılığını net bir şekilde aktarabilmek için, kullanıcı nüfus yaşayan nüfus ve dolaşan nüfus ayrımıyla modele dahil edilmiştir. McKenzie (2019)’nin çalışmasından hareketle; e-scooterı genelde öğleden sonra ve akşam saatlerinde kısa mesafeli işler yapmak ve eğlence mekanlarına ulaşım için kullanan nüfus “dolaşan nüfus” ve sabahları işe&okula gidiş seyahatlerinde kısa mesafe için ya da toplu taşımaya erişim için e-scooter kullanan nüfus ise “yaşayan nüfus” olarak tanımlanmıştır.

E-scooter parklanma modelinde grid alan içerisinde yaşayan nüfus, grid alan içerisinde ikamet eden hedef kitle ile çalışmaya dahil edilmektedir. Literatürden hareketle; e-scooterın başlıca kullanıcısı olan genç nüfus, grid içerisinde yaşayan 15 – 24 yaş (Genç Ergen Nüfus) ve 25 – 34 yaş (Genç Yetişkin Nüfus) ile belirlenmiştir. McKenzie (2019)’nin çalışmasından hareketle, çocuk bulunmayan hanelerin e-scooter kullanma eğilimi daha çok olduğu için grid alan içinde yaşayan Paylaşımlı Haneler ve Tek

Yaşayan Haneler de modele dahil edilmiştir. Bai ve Jiao (2020) çalışmalarında e-scooter kullanıcıların yüksek gelir grubundan olmadığını ve eğitilmiş nüfusun e-scooteri daha çok tercih ettiğini göstermiştir. Bu nedenle orta gelire sahip olan ve eğitilmiş nüfusun çoğunluğunu oluşturduğu B ve C1 Sosyo – Ekonomik Statüdeki nüfus da ayrıca modele dahil edilmiştir.

Dolaşan nüfus için ise gündüz saatlerinde toplu taşımaya, okuluna ve sosyalleşme alanlarına ulaşmaya çalışan ve Noland (2019)'ın çalışmasına göre özellikle cuma ve cumartesi geceleri olmak üzere hafta sonu daha yoğun kullanım eğilimi gösteren kitle tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tespit için grid alanlar içerisinde yer alan noktaların varlığı dikkate alınmıştır.

Modelde potansiyel kullanıcı tespiti için grid alanlar içerisinde yaşayan ve gün içerisinde alanda dolaşan nüfus dikkate alınmış olup kullanılan değişkenler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Potansiyel kullanıcı tespiti için kullanılan değişkenler

Yaşayan Nüfus	Veri Kaynağı	Veri Alanı – Türü
Genç Ergen Nüfus (Kişi)	Maptriks (TÜİK)	Grid alan içinde - demografik
Genç Yetişkin Nüfus (Kişi)	Maptriks (TÜİK)	Grid alan içinde - demografik
C1 SES Nüfusu Oranı (Yüzde%)	Maptriks	Grid alan içinde - demografik
B SES Nüfusu Oranı (Yüzde%)	Maptriks	Grid alan içinde - demografik
Paylaşımlı Hane Sayısı	Maptriks (TÜİK)	Grid alan içinde - demografik
Tek Kişilik Hane Sayısı	Maptriks (TÜİK)	Grid alan içinde - demografik
Dolaşan Nüfus		
Ulaşım Alanları	Maptriks	Grid alan içinde - Nokta verisi
Eğitim Alanları (Lise ve üstü)	Maptriks	Grid alan içinde - Nokta verisi
Sosyalleşme Alanları	Maptriks	Grid alan içinde - Nokta verisi

Ulaştırma ve Altyapı, Çevre ve Şehircilik ile İçişleri Bakanlıklarınca yayımlanan “Elektrikli Skuter Yönetmeliği” ve İBB UKOME tarafından yayımlanan “İstanbul E-Scooter Yönergesi” kararları ve eğitim dikkate alınarak model için yasal ve çevresel kısıtlar tespit edilmiştir. Modelde kullanılan değişkenler Tablo 2’de görülmektedir.

Çok yüksek eğitimdeki alanlar e-scooter için kısıt oluştururken ortalama eğitimdeki alanlarda kullanım taleplerinin arttığı bilinmektedir. Çok yüksek eğitim ve karayolu kısıtları potansiyel düşürücü, e-scooter için uygun eğitim ise potansiyel artırıcı etki yapacak şekilde modele dahil edilmiştir.

Yönetmelikte ön plana çıkarılan bisiklet yolları, modelde pozitif etki oluşturulacak şekilde eklenebilecekken, hem güncel veriye erişilememesi hem de parklanma modelinden çok sürüş sürecini etkilemesi nedeniyle çalışmaya ve modele dahil edilememiştir.

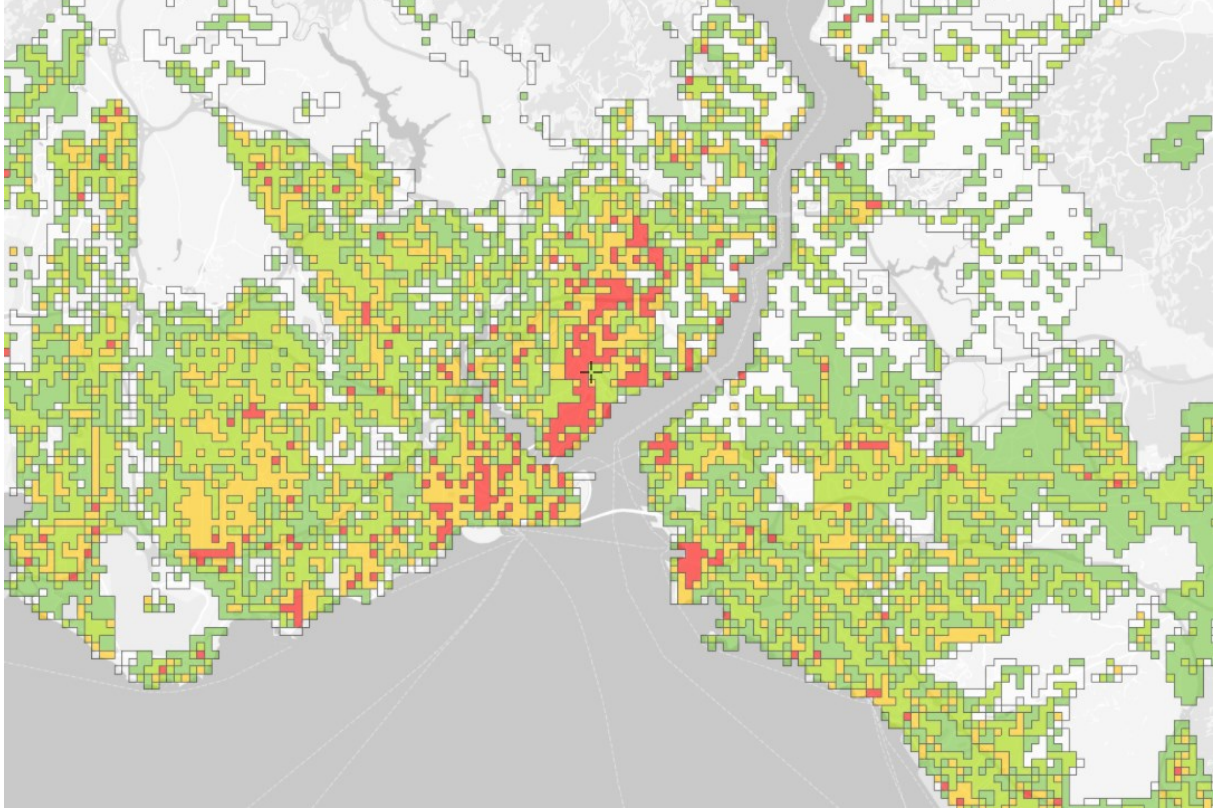
Tablo 2. Yasal ve çevresel kısıtların tespiti için kullanılan değişkenler

Çevresel Koşullar	Veri Kaynağı	Veri Alanı - Türü
Eğitim	Maptriks	Coğrafi Bilgi Sistemi Harita Katmanı
Karayolları	Maptriks	Coğrafi Bilgi Sistemi Harita Katmanı

3.1 Model çıktıları

Literatür taraması ve İstanbul E-scooter Yönetmeliği dikkate alınarak, “İstanbul E-scooter Parklanma Modeli” oluşturulmuştur. Çalışmada üretilen model, Maptriks Coğrafi Bilgi Sistemleri altyapısı kullanılarak üretilmiştir. 250 metre x 250 metre gridler ile üretilen modelde İstanbul genelinde parklanma için potansiyeli en yüksek gridler ortaya çıkmıştır.

Modelin çıktıları İstanbul’un merkez ilçeleri için Şekil 1’de görülmektedir. Model çıktılarında beyaz olarak görülen gridler e-scooter için en düşük kullanım potansiyelini, kırmızı gridler ise en yüksek kullanım potansiyelini işaret etmektedir.



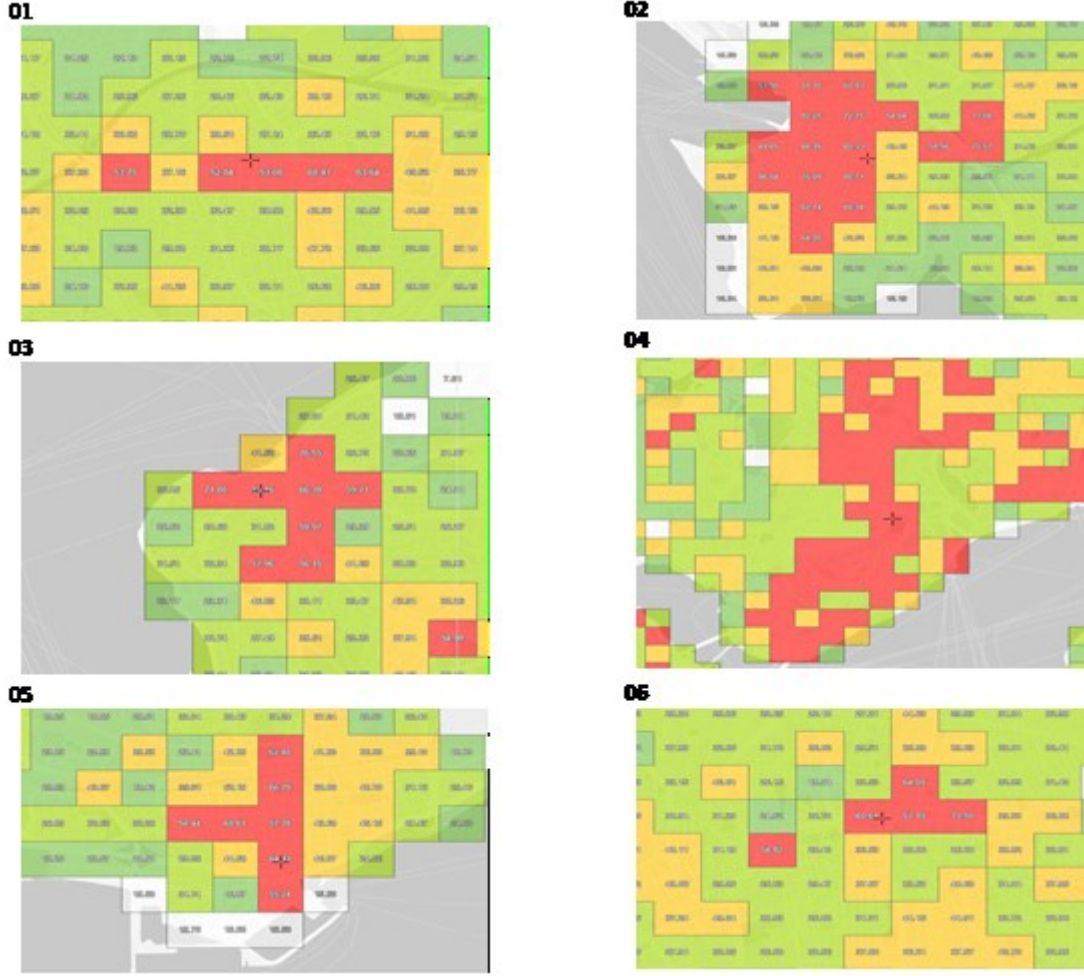
Şekil 1. Grid model 250x250 İstanbul – üst ölçekli model görseli (Maptriks).

İstanbul genelinde bulunan 23,148 gridden 361 tanesi yüksek potansiyelli olarak görülmektedir. Yüksek potansiyelli alanların kent merkezinde yoğunlaştığı ve çeperlere doğru azaldığı söylenebilir.

Model çıktıları detaylı incelendiğinde, yüksek potansiyelli alanların genellikle kent meydanları, alışveriş caddeleri, yeme-içme mekanlarının yoğun olduğu akslar, yayalaştırılmış alanlar ve toplu taşıma modları arası transfer merkezleri gibi kentte yaya hareketliliğinin en yoğun olduğu yerleri kapsadığı tespit edilmiştir.

Yüksek potansiyelli gridleri yakından incelemek modeli ve kentteki e-scooter kullanımını öngörülebilirliğini arttıracak ve stratejik kararlara girdi sağlayabilecektir.

Modelde toplamda aldığı puan yüksek olan gridler İstanbul genelinde parklanma noktalarının konumlandırılması için önceliklendirilebilecektir. Bunun yanında her bir grid alanının alt kategoriler bazında aldığı puanlar da inceleyebilir ve bu yöntemle daha detaylı bir stratejik planlama yapılabilir. Kategoriler bazında incelendiğinde, Örneğin Şişli – Mecidiyeköy Mahallesi, Gülbağ semti toplamda ortalama üzeri bir puana sahipken, yaşayan nüfus kategorisinde en yüksek puanı almıştır. Taksim meydanını da içine alan Beyoğlu – Gümüşsuyu Mahallesi'ndeki grid ise toplamda ortalama üzeri bir puana sahipken, dolaşan nüfus kategorisinde modeldeki en yüksek puanı almıştır. Model çıktıları uygulama aşamasında tüm bunlar dikkate alınarak kullanılmalıdır.



1. Ümraniye -Alemdağ Caddesi
2. Kadıköy -Söğütliçeşme Caddesi, Kadıköy Boğa Heykeli
3. Üsküdar -Hakimiyeti Milli Caddesi
4. Taksim, Karaköy, Şişhane (Kemeraltı Caddesi, İstiklal Caddesi ve Tarlabası Bulvarı)
5. Bakırköy -Fişekhane Caddesi
6. Bağcılar Meydan İstanbul

Şekil 2. Grid model 250x250 İstanbul - parklanmaya uygun bölge örnekleri (Maptriks).

Model sonuçları Şekil 2'deki gibi, İstanbul'da örnek bölgelerde yakından incelenmiştir. Bu bölgeler incelendiğinde, perakende yoğunluğu bulunan caddelerin, meydanların ve sahil hattında bulunan caddelerin özellikle öne çıktığı görülmektedir. 2, 3 ve 4 numaralı alanlarda farklı toplu taşıma modlarının birlikteliğinden kaynaklanan transfer amaçlı yaya hareketliliği dikkat çekmektedir. 2 numaralı alanda özellikle Rıhtım Caddesi'nde vapur, metro, otobüs, minibüs ve dolmuş durakları bu yoğunluğu sağlarken Boğa Heykeli çevresinde de metrobüs durağı hareketliliği desteklemektedir. Aynı zamanda bu alanın Marmaray durağına yakınlığı da dikkat çekmektedir. 3 numaralı alanda Hakimiyeti Milliye Caddesi ve İskele meydanında benzer bir yoğunluk görülmekte olup vapur, marmaray, otobüs, metro, minibüs ve dolmuş duraklarının birlikteliği bu alanı ulaşım transfer meydanı haline getirmektedir. Benzer şekilde 4 numaralı alanda da tramvay, vapur, funiküler ve otobüs durakları bir arada bulunmaktadır. Bu özellikleri ile ön plana çıkmasalar da 1, 5 ve 6 numaralı alanlarda da toplu taşıma durakları bulunmaktadır.

Örnek alanlarda geniş yaya meydanları yanında yaya öncelikli paylaşımlı ara sokaklar da bulunmaktadır. 1, 2, 4 ve 6 numaralı alanlarda tamamen yayalaştırılmış alanlar da bulunmaktadır. Diğer yandan alanların topografik özellikleri dikkate alındığında 2, 3 ve 4 numaralı alanlarda eğimin dikkat çektiği söylenebilir.

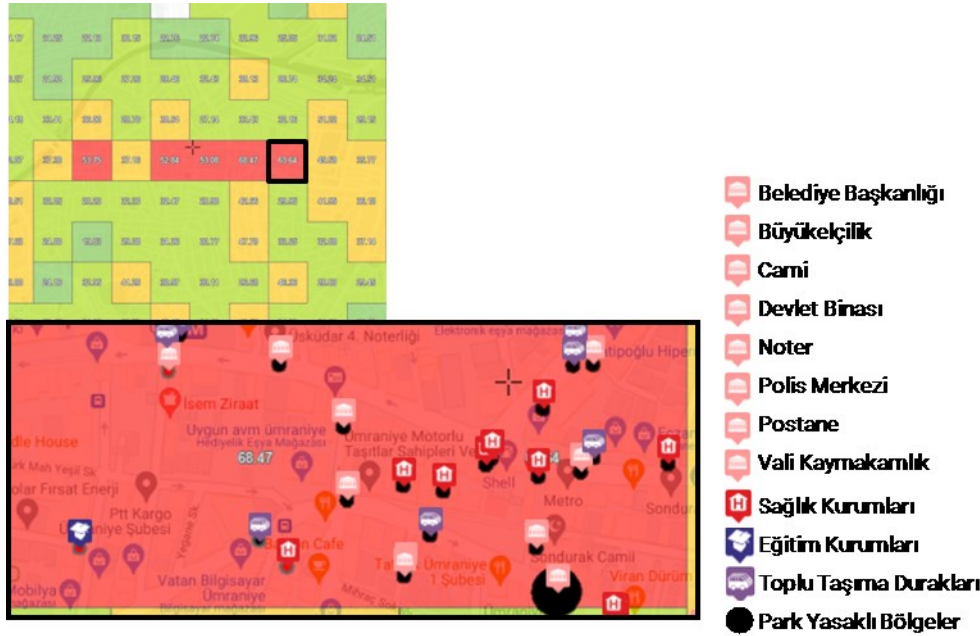
Örnek alanların hepsinde kategoriler bazında özellikle dolaşan nüfus varlığı öne çıkmaktadır. Hem sosyalleşme alanlarını, hem de kent genelinden erişim potansiyeli yüksek olan bu alanlarda, toplu taşıma sonrası eğlence alanlarına erişen hedef kitleyi özellikle kapsadığı söylenebilmektedir.

Yıllar içerisinde giderek daha çok kullanıcıya ulaşmakta olan e-scooterların kullanımı, paylaşımlı e-scooter firmalarının artışı ve pandeminin de etkisi ile kent içi ulaşımında giderek daha çok pay almaktadır. Fakat e-scooter sayısı arttıkça, önlem alınmayan kullanıcıların trafikte kaza riski de artmış, yaya yollarında kullanılan ve park edilen e-scooterlar nedeniyle yayaların güvenliği de tehlikeye girmiştir. Bu sebeplerle, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de e-scooter kullanımına çeşitli kısıtlamalar getirilerek hem kullanıcılara hem de firmalara çeşitli sorumluluklar yüklenmiştir.

Firmalar için en önemli kısıtlardan biri park edilemeyen alanların belirlenmesi olmuştur. Daha çok kullanıcıya erişmek için tüketici tercihlerini ön planda tutan firmaların park noktası belirlemesi için yasal kısıtlar da belirleyici olmaya başlamıştır.

Grid genelinde kullanıcı sayısındaki potansiyelin yüksekliği nedeniyle yüksek puan almış olsa da her bir grid teker teker incelendiğinde grid içerisinde park yasaklı bölgelerin bulunabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Hem bakanlıklarca açıklanan kısıtlar hem de UKOME tarafından detaylı açıklanan park yasaklı bölgeler sistem üzerinden yer seçimi yaparken dikkate alınmıştır. Bu durum hatalı parklanmaya bağlı olarak yaralanmalara sebebiyet verebilecek kazalardan korunmak için hayata geçirilmesi gereken kamu politikalarına da yarar sağlayacaktır.

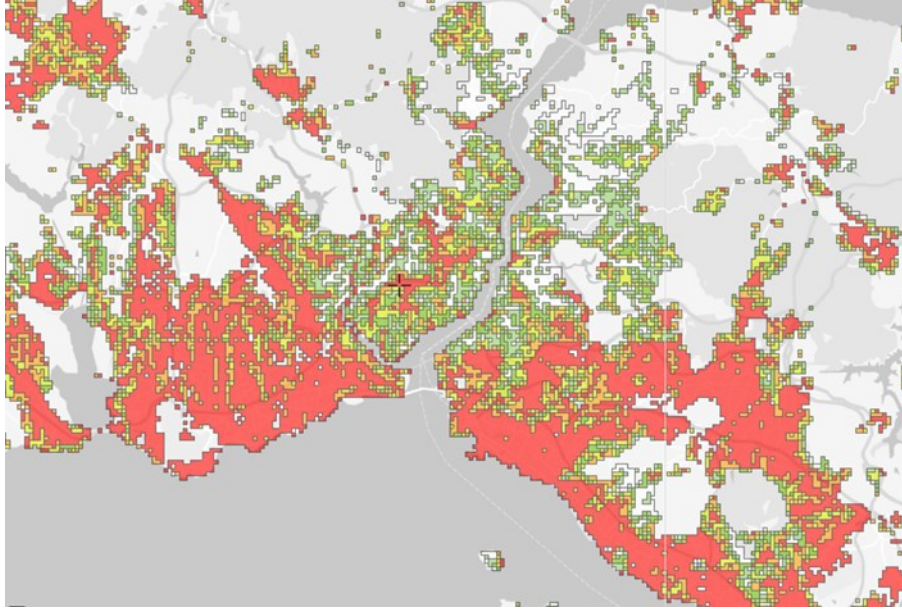


Şekil 3. Grid model 250x250 İstanbul – potansiyel alanlarda park yasaklı bölge örneği (Maptriks).

Şekil 3, Grid Model sonucunda yüksek parklanma potansiyeli ile öne çıkan Ümraniye’deki grid alanının (Alemdağ Caddesi, 41.025467, 29.094066) yönetmeliklere göre park yasaklı alanlarını göstermektedir.

Gridler üzerinde park yasaklı bölgeler belirlenirken, Belediye Başkanlığı, Cami, Devlet Binası, Noter, Postane, Sağlık Kurumları, Eğitim Kurumları ve Toplu Taşıma Durakları park yasağı alanları 5 metre olarak alınmıştır. Büyükelçilik ve Polis Merkezi için 20 metre ve Vali ve Kaymakamlık için ise 100 metre mesafedeki bölgeler parklanma yasaklı olarak tanımlanmıştır.

Parklanma alanları belirleme ve e-scooterların rotalarını tahminlemede hem hizmet sağlayıcılar hem de belediyeler tarafından dikkate alınması gereken bir diğer konu ise eğimdir. Belediyeler sadece kurallar tanımlarken değil, altyapı geliştirmeleri sağlarken de (bisiklet yolları üretimi vb.) eğimi dikkate almalıdır.



Şekil 4. Grid model 250x250 İstanbul çevresel koşullar – eğim (Maptriks).

Şekil 4'te İstanbul genelinde gösterimi yapılan eğim haritasında eğim kullanıma engel yarattıkça (eğim arttıkça) renk kırmızıdan, yeşil renge dönmektedir.

Birkaç örnek sıralamak gerekirse; Şişli ilçesi Teşvikiye Caddesi ve çevresi kırmızı ile renklenirken (kullanım açısından yüksek puan), Şişli ilçesi Vatan Caddesi ve Üsküdar ilçesi Çamlıca Caddesi e-scooter ile turuncu ve sarı renkli (ortalama puanlı) caddeler olarak öne çıkmaktadır. Kağıthane ilçesi Şirintepe'de Armağan Sokak, Beşiktaş ilçesi Arnavutköy'de Kireçhane Sokak ve Beykoz'da Baraj Sokak eğim açıları nedeniyle kullanıma uygun olmadığı için beyaz (en düşük puan) renkle görüntülenebilmektedir.

Hem parklanma hem sürüş rotası dikkate alındığında yönetmeliklerce belirlenen sürüşe uygun olmayan yollar da grid modellere eklenmiştir. İstanbul genelinde bulunan toplam 23,148 adet grid alanın 525 adedi karayolu içerisinde olup parklanmaya uygun değildir.



Şekil 5. Grid Model 250x250 İstanbul veto alanları/karayolu (Maptriks).

Parklanma modelinde, başta kullanım potansiyeli dikkate alınarak, kullanıcıların e-scooterları doğru noktadan alması ve bırakması sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle kullanım yasaklı alanlar grid modelde tarama yöntemi ile gösterilmektedir. Ve burada park alanı yer seçimi veto edilmektedir. Şekil 5'te görüldüğü üzere, Eyüpsultan ilçesi Savaklar Caddesi'nin bulunduğu grid alan hem eğimin yüksek olması hem de karayollarının yoğunluğu sebebiyle parklanma yasaklı alan olarak değerlendirilmiştir.

4. Sonuçlar

Mikromobilité çözümlerinin şehir içi ulaşım seçenekleri arasında giderek yaygınlaşması, bu alanda hizmet verecek yatırımcıların sahip olması gereken koşulları ve gerekli standartları oluşturacak kamu politikalarının belirlenmesinin önemini arttırmıştır. Son yıllarda çok tercih edilen e-scooter araçlarının kullanımındaki artışa bağlı şikayetler, bu araçların kullanım rotaları ve parklanmasında mevcut trafik koşulları, yaya araç güvenliği gibi kriterlerin de sağlanmasına ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

Çalışma kapsamında kent içi e-scooter kullanım rotası ve parklanma aşamaları ayrı olarak düşünülmüş ve Türkiye'nin en kalabalık şehri için "İstanbul E-scooter Parklanma Modeli" oluşturulmuştur. İstanbul'un seçilmesinin ana nedeni, nüfusu nedeniyle yasal olarak Türkiye'de en yüksek sayıda e-scooter'a İstanbul'da ulaşılacağı ve en yüksek ihtiyacın bu ilde olacağı öngörülmesidir. İstanbul özelinde İBB tarafından Kadıköy ilçesi için mikromobilité park alanları girişimi de bu ihtiyacı doğrular niteliktedir. Kullanımı oldukça yoğun olan bu mobilité aracının kent içi trafiğe doğru entegrasyonunu sağlayabilmek, bunu yaparken de hem ihtiyacı gözetmek hem de daha güvenli parklanma alanları üretebilmek çalışmanın başlıca odak noktasını oluşturmuştur.

Çalışma kapsamında kullanıcı tercihleri ve yasal kısıtlar çakıştırılarak, İstanbul'da e-scooterlar için en uygun park yeri bölgeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre kent merkezindeki en önemli düğüm noktaları olan Beyoğlu, Beşiktaş, Kadıköy, Üsküdar gibi ilçelerin merkezi bölgeleri, e-scooterlar için yoğun potansiyelli alanlar olarak öne çıkmaktadır.

Nüfusla orantılı olarak park alanları ihtiyacının, İstanbul genelinde Avrupa kıtasında yoğunlaştığı görülmektedir. Eğimin çok yüksek olduğu bölgelerde e-scooter kullanımı teknik açıdan mümkün olmasa da e-scooterın erişebileceği eğimlerde kullanıcıların e-scooterı seçmek için daha istekli oldukları görülmüş, bu durum modellemeye dahil edilmiştir. Buna göre eğimin görece yüksek olduğu bölgelerde kullanıcı tercihleri ile birleştiğinde, park edilmeye uygun alanların oluştuğu görülmektedir.

Modeldeki park edilebilir gridler daha ayrıntılı incelendiğinde, yönetmeliğin getirdiği noktasal kısıtlar görülmektedir. Bu alanların her grid için belirlenmesi ve uygulanması, e-scooter firmaları için çok önemlidir. Park edilemez alanlara e-scooter bırakan kullanıcıların tespit edilmesi ve e-scooterın oradan kaldırılması firmaların sorumluluğundadır. Firmaların bu takip konusundaki ihtiyaçları da dikkate mikroalınarak, lokasyon analitiği aracılığı ile kısıtlı alanları gösteren bir çalışma da ortaya konmuştur.

5. Tartışma

Çalışma ile henüz ilk yıllarında olan e-scooter pazarına öncül bir rehber oluşturulmuş olup, model çıktıları potansiyel noktalarda test edildiğinde yüksek oranda tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın firmalara saha çalışması öncesinde, stratejik karar verme sürecinde yarar sağlayabileceği; bu model ile lokasyon temelli doğru kararlar verebilecekleri öngörülmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ayrıca yasaklı konumda bulunan e-scooterların hızla tespit edilebilmesini sağlayabilmektedir. Bu hem sorumlu işletme firmalarına hem de denetleyen kurumlara verimli çalışma imkânı sağlayacaktır.

Henüz yeni olan bu alanda yapılmış akademik çalışmalar ve yönetmelikler dikkate alınarak modelleme yapılabilmektedir. İlerleyen zamanlarda daha geniş kapsamlı kullanıcı verileri ile çalışmanın yenilenmesi Türkiye geneli için çok daha kullanışlı bir model üretilbilmesine imkân sağlayacaktır.

Çalışmada karayollarına dair verilere ulaşılabildiği için, yasaklı alanlar buna göre tanımlanabilmiştir. Ancak yaya yolları ve bisiklet yolları verisinin temin edilebildiği bir çalışma yasaklı alanlara dair çıktıların daha kesin olmasını sağlayacaktır. Türkiye ve İstanbul'da net kullanıcı sayılarına ve doğru e-scooter sayılarına erişilememiş olması da çalışmanın kısıtları arasındadır. Mevcut sayılar bilinmese de, İstanbul'daki e-scooter sayısı için tahminler yürütülebilmektedir. E-scooter yönetmeliği ile kullanım oranlarının netlik kazanacağı düşünülmektedir. Kullanım oranları dahil edilerek çalışmanın kapsamı sonraki çalışmalarda genişletilebilecektir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve teşekkür beyanı

Çalışma kapsamında kullanılan verileri sağladıkları için Maptriks firmasına teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Abduljabbar, R. L., Liyanage, S., and Dia, H. (2021). The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation research part D: transport and environment*, 92, 102734.

Bai, S., and Jiao, J. (2020). Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: A comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN. *Travel behaviour and society*, 20, 264-272.

Caspi, O., Smart, M. J., and Noland, R. B. (2020). Spatial associations of dockless shared e-scooter usage. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102396.

Eccarius, T., & Lu, C. C. (2020). Adoption intentions for micro-mobility – Insights from electric scooter sharing in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 84.

Elektrikli Skuter Yönetmeliği (2021). T.C Resmi Gazete, 14 Nisan 2021.

Gössling, S. (2020). Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102230.

Laa, B., & Leth, U. (2020). Survey of E-scooter users in Vienna: Who they are and how they ride. *Journal of Transport Geography*, 89.

Lee, M., Chow, J. Y., Yoon, G., and He, B. Y. (2021). Forecasting e-scooter substitution of direct and access trips by mode and distance. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 96, 102892.

Li, H., Ding, H., Ren, G., and Xu, C. (2018). Effects of the London Cycle Superhighways on the usage of the London Cycle Hire. *Transportation research part A: policy and practice*, 111, 304-315.

McKenzie, G. (2019). Spatiotemporal comparative analysis of scooter-share and bike-share usage patterns in Washington, DC. *Journal of transport geography*, 78, 19-28.

Noland, R. B. (2019). “Trip Patterns and Revenue of Shared E-Scooters in Louisville,Kentucky.” *Transport Findings*, April

Reck, D.J., Guidon, S., and Axhausen, Kay W., (2020). Modelling shared e-scooters: A spatial regression approach. *Paper presented at the 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, January.

Riggs, W., Kawashima, M., & Batstone, D. (2021). Exploring best practice for municipal e-scooter policy in the United States. *Transportation research part A: policy and practice*, 151, 18-27.

Sareen, S., Remme, D., & Haarstad, H. (2021). E-scooter regulation: The micro-politics of market-making for micro-mobility in Bergen. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 40, 461-473.

Sarıışık, B. E., ve Ercoşkun, Ö. Y. (2021). Dünyada ve Türkiye’de Mikro Hareketlilikte E-Scooter Sistemleri. *Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2(1), 72-94.

Shaheen Susan, P., Cohen, A., Chan, N., and Bansal, A. (2020). Sharing strategies: carsharing, shared micromobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes. *eScholarship, University of California*, Chapter 13

Sikka, N., Vila, C., Stratton, M., Ghassemi, M., & Pourmand, A. (2019). Sharing the sidewalk: A case of E-scooter related pedestrian injury. *The American journal of emergency medicine*, 37(9), 1807-e5.

Smith, C. S., & Schwieterman, J. P. (2018). E-scooter scenarios: evaluating the potential mobility benefits of shared dockless scooters in Chicago.

Traynor Jr, M. D., Lipsitz, S., Schroeder, T. J., Zielinski, M. D., Rivera, M., Hernandez, M. C., & Stephens, D. J. (2022). Association of scooter-related injury and hospitalization with electronic scooter sharing systems in the United States. *The American Journal of Surgery*, 223(4), 780-786.

Tuncer, S., and Brown, B. (2020). E-scooters on the ground: lessons for redesigning urban micro-mobility. *In Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems* April, pp. 1-14

Yang, H., Ma, Q., Wang, Z., Cai, Q., Xie, K., and Yang, D. (2020). Safety of micro-mobility: Analysis of E-Scooter crashes by mining news reports. *Accident Analysis & Prevention*, 143, 105608.

Zakhem, M., and Smith-Colin, J. (2021). Micromobility implementation challenges and opportunities: Analysis of e-scooter parking and high-use corridors. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103082.

Zhang, W., Buehler, R., Broaddus, A., and Sweeney, T. (2021). What type of infrastructures do e-scooter riders prefer? A route choice model. *Transportation research part D: transport and environment*, 94, 102761.

Url 1 < <https://gazeteoksijen.com/turkiye/istanbulda-scooterlarin-park-sorununa-scooter-park-projesi-158352>> erişim tarihi: 26.07.2022

Url 2 - İstanbul E-scooter Yönergesi: <<https://uym.ibb.gov.tr/kurumsal/haberler-ve-duyurular/ukome-den-scootere-%C3%A7ekid%C3%BCzen>> erişim tarihi: 10.09.2021.

Research Article

Otomotiv ömür testlerinin Arrhenius yöntemiyle hızlandırılması, Elektrikli güç aktarma sistemleri üzerine deneysel bir çalışma

Habib Kaymaz*

Otobüs Geliştirme, Mercedes Benz Türk AŞ, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: habib.kaymaz@daimler.com

DOI: 10.51513/jitsa.1080140

Özet: Otomotiv testleri, araca ait herhangi bir bileşeni, sistemi veya komple aracı, arzu edilen seviyede olduğunu ispat veya regülasyonlara uygun olduğundan emin olmak için sanal, laboratuvar, stant veya gerçek kullanım koşullarında değerlendirmeden geçirmektir. Otomotiv testleri, ürün geliştirme için hayati süreçlerden biridir ve küresel otomotiv pazarlarına erişim için bir gerekliliktir. Testlerin ana hedefi, ürünün muhtemel uyumsuzluğunu yaşam döngüsünün erken aşamalarında ortaya çıkarmaktır. Testlerin aynı zamanda “güvenilir”, “tekrarlanabilir”, “düşük maliyetli” ve “çevre dostu” olması arzu edilir. Bu çalışmada, hafif hibrit bir araca ait elektrikli güç sisteminin müşteri koşullarında öngörülen ömür yeterliliği değerlendirilmiştir. Ömür testini daha güvenilir ve tekrarlanabilir yapmak için testler Arrhenius yöntemiyle hızlandırılmış ve sentetik bir kullanım verisi yerine gerçek sürüş verileri kullanılmıştır. Öngörülen bu yöntem, gerçek koşulları uygulayabilen, CAN-Bus simülasyonu ve yüksek ortam sıcaklığı sağlayabilen bir test standı üzerinde denenmiştir. Geliştirilen test standı ve uygulanan yöntem sayesinde, gerçek koşullar altında elektrikli güç sisteminin ömür testi gerçekleştirilmiş, test süresi 4,65 kat hızlandırılarak zaman ve maliyeti avantajı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otobüslerin elektrifikasyonu, Hibrit elektrikli güç aktarma organları, Araç testleri, Hızlandırılmış ömür testi, Arrhenius denklemi

Accelerating automotive life tests with Arrhenius method, An experimental study on electric powertrain systems

Abstract: Automotive testing is the evaluation of any vehicle component, system, or complete vehicle in virtual, laboratory, stand, or real-use conditions to prove that it is at the desired level or to ensure that it complies with regulations. Automotive testing is one of the vital processes for product development and a requirement for access to global automotive markets. The main target of testing is to simulate real-world driving conditions to disclose any weakness of the product at the early stage of its life cycle. It is desirable that the tests are also "reliable", "reproducible", "low cost" and "environmentally friendly". In this study, the predicted lifetime adequacy of a mild hybrid power system under customer conditions was evaluated. To realize the life test more reliable and reproducible, the tests were accelerated with the Arrhenius method, and real driving data was used instead of synthetic usage data. This proposed method was tested on a test stand that is capable of applying real conditions, CAN-Bus simulation, and high ambient temperature. Thanks to the developed test stand and the applied procedure, the life test of the electric powertrain system was realized under real conditions, and the test was accelerated by 4.65 times, providing time and cost advantages.

Keywords: Electrification of buses, Hybrid electric powertrain, Vehicular testing, Accelerated life test, Arrhenius equation

* Corresponding author.

E-mail address: habib.kaymaz@daimler.com

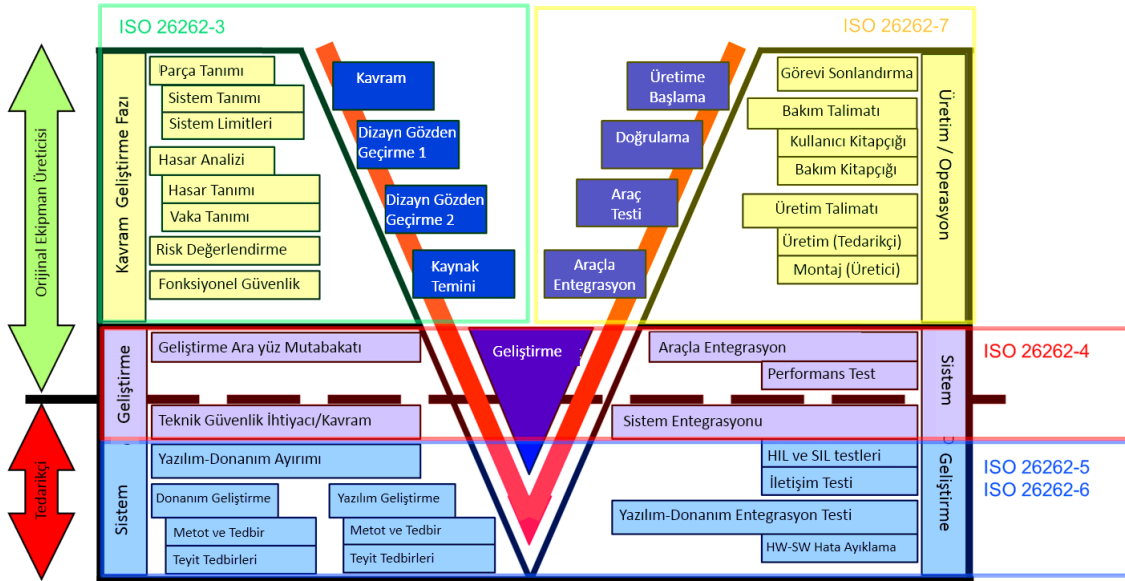
ORCID: 0000-0002-8338-004X

Received 31.10.2022; accepted 22.12.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Otomotiv endüstrisi gerek ürünleri ve gerekse üretim tarzı açısından dünyanın önemli sektörlerinden biridir ve sanayileşmiş ülkelerde ekonominin lokomotifi olarak kabul edilmektedir. Küresel üretimi 2019 yılında 90 milyonu geçen otomotiv endüstrisi, motorlu karayolu araçlarını tasarlayan, geliştiren, üreten ve pazarlayan devasa bir sektördür (OICA). Diğer endüstri kolları içinde otomotiv sektörünü farklı kılan özellik, rakamsal büyüklük veya kârlılıktan ziyade kavram geliştirmeden üretime, tedarik zinciri yönetiminden satış sonrası hizmetlere kadar bütün süreçleriyle rol-model oluşturma kabiliyetidir. Uzay-havacılık-savunma sanayisi gibi ileri teknolojiyi kullanan otomotiv endüstrisi, halen büyük bir teknolojik gelişme potansiyeline sahiptir. Müşteri talepleri yakın geçmişe kadar elektro-mekanik sistemlerle karşılanırken, günümüzde araçlar bilişim, ileri optik ve elektronik (AI, IoT, RADAR, LIDAR, Kamera, Ethernet vb) teknolojilerini kullanan karmaşık bir ürüne dönüşmüştür. Fosil kaynaklı yakıtların oluşturduğu çevresel zorluklar ve yaşanan güvenlik zaafiyeti İngilizcesi CASE (Connected, Autonomous, Shared, Electrified) olarak kısaltılan bağlantılı, otonom, paylaşımlı ve elektriksel değişimleri zorunlu kılmaktadır. Bu teknolojik gelişmeler, ilgili sistemlerin test ve onay süreçlerini de etkilemektedir. Otomotiv testleri, güvenilir ve tekrarlanabilir denemeler yaparak aracın veya alt sistemin olası zayıflığını ortaya çıkaran ürün geliştirmeye ait hayati süreçlerden biridir. Bu aynı zamanda seri üretilen karayolu araçlarının elektrik-elektronik sistemleri için işlevsel güvenlik standardı olan ISO 26262'nin de gereğidir. Bu standart, otomotiv güvenliği bütünlük düzeyi (Automotive Safety Integrity Level, ASIL) olarak tanımlanan risk sınıflarının belirlenmesini sağlar. Standart ayrıca, yeterli ve kabul edilebilir bir güvenlik seviyesi sağlamak için doğrulama ve doğrulama gereksinimlerini tanımlar. Otomotivde kullanılan elektrik-elektronik sistemlerin V model temelli geliştirme süreci Şekil 1' de verilmiştir (ISO).



Şekil 1. Otomotiv sektöründeki V model temelli geliştirme süreci

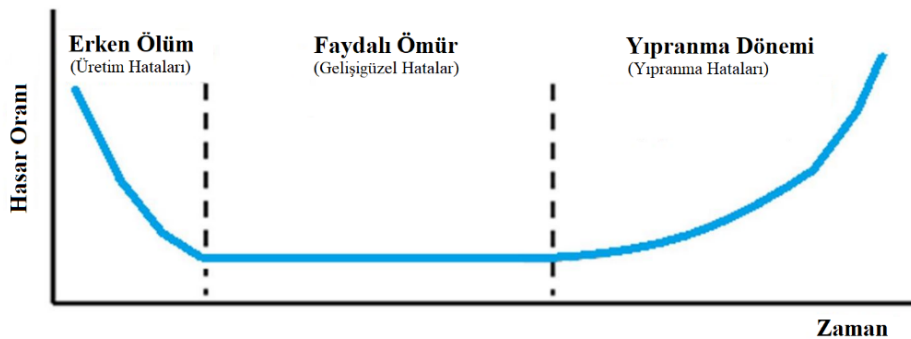
Otomotiv testleri Tablo 1'de gösterildiği gibi farklı şekillerde tasnif edilebilir. Testler, ihtiyaç bazlı olarak ulusal / uluslararası regülasyonlardan kaynaklanan zorunlu testler, üreticinin kendi iç ihtiyaçlarına göre uygunluk / doğrulama testleri ile müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik testler olarak sınıflandırılabilir. Testler, gerçekleştirildiği ortama göre model, stant, duran bir araçta veya yolda koşan bir araçta gerçekleştirilir. Araç ve yol testleri komple bir araç gerektirirken, model veya stant üzerindeki testler araçsız yapılabilmektedir. Ancak montaj, fonksiyon, performans, siber güvenlik, dayanım ve ömür testlerinden oluşan kapsam bazlı sınıflandırma test dünyasında daha fazla kullanılmaktadır. Montaj testlerinde, sorunsuz bir şekilde montaj-demontaj-servis ve bakım işlemlerinin yapılabilirliği ile konum/güzergah uygunluğu sınanır.

Fonksiyon testleriyle bir sistemden beklenen işlevsellik kontrol edilir. Performans testleri nicel kritere sahip hususlarda (belli bir sürede belli bir hıza çıkma veya durma, dış ortam sıcaklığı belli bir seviyede iken iç ortam sıcaklığının belli bir dereceye belirli bir sürede düşürülmesi veya çıkartılması, iç aydınlatma lambalarıyla belli bir düzeyde belli bir ışık şiddeti elde edilmesi gibi) ölçümsel işlevsellik kontrol edilir. Siber güvenlik testlerinde sistemin muhtemel zafiyetleri (vulnerability) dışardan nüfuz edilebilme (penetrasyon) durumu değerlendirilir. Dayanım testlerinde, ilgili sistem veya parçanın çalışma yükleri ve çevresel şartlarına göre elektrik, mekanik, termal veya kimyasal etkilere dayanımı test edilir. Ömür testleri kullanıma bağlı olarak aşınan, yıpranan ekipmanların arzu edilen çalışma ömrüne sahip olup olmadığını ortaya çıkarmak için yapılır. Gerçek kullanım şartlarında yapılan ömür testlerinin yanında ileride detaylandırılacak hızlandırılmış ömür otomotiv testi sıkça başvurulan testlerdir. (Kalite hatalarını ortaya çıkarmak için yapılan çok hızlandırılmış ömür testleri bu çalışma alanının dışında tutulmuştur.) Ömür testleri -çoğukez- hazır temin edilen bir sistem veya ürünle ilgili olduğundan Şekil 1 de gösterilen tedarikçi kapsamında yapılması gerekir ancak özel durumlarda otomotiv üreticisi (OEM) tarafından yapılmaktadır.

Tablo 1. Araç geliştirme testlerinin sınıflandırılması

İhtiyaç bazlı sınıflandırma	Ortam bazlı sınıflandırma	Kapsam bazlı sınıflandırma
Zorunlu testler (regülasyon, homologasyon) Tasarım doğrulama testleri Müşteri istek ve ihtiyaçlarına yönelik testler	Sanal testler Laboratuvar testleri Stant testleri Yol testleri	Montaj testleri Fonksiyon testleri Performans testleri Siber güvenlik testleri Dayanım testleri Ömür testleri

Ömür testi (life test, LT) hedef aracın tasarımına uygun olarak üretilen test stantlarında yapılır. Ömür testi beklenen yaşam döngüsü boyunca arızaları ve olası arıza modlarını ortaya çıkarmak için çalışma döngüsü ile yıpranabilecek bir ürün için tercih edilir. Ürünlerin hasar oranı, öngörülen zaman aralığında ürünün hasarlanma olasılığıdır. Hasar oran eğrisi, arızaların ne zaman meydana geldiğine bağlıdır. Küvet modeli şeklinde bir hasarlanma modeli, basitleştirici bir varsayım olarak başlangıçta insan yaşamı için tehlike modeli olarak geliştirilmiş ve ilk olarak 17. yüzyılın sonlarında hayat sigortası istatistikleriyle ilgili bir makalede kullanılmıştır. Modelin adı, Şekil 2'de gösterildiği gibi küvete benzeyen şekildedir. Başlangıç dönemi, yüksek ancak zamanla azalan bebek ölümleri veya düşük oranıyla başlar. Bunu, kazalar, cinayetler, kanser gibi rastgele ölümlerin meydana geldiği faydalı ömür dönemi olarak adlandırılan sabit bir yaşam dönemi takip eder. Yıpranma dönemi olarak adlandırılan üçüncü dönem, nüfus yaşlandıkça ve ölüm oranları arttıkça ortaya çıkar (Gaonkar Vd., 2021).



Şekil 2. Küvet modeli formundaki hasar oran eğrisi

Bu model elektrik-elektronik sistemlerinin ömür modellemesinde de kullanılmaya başlanmıştır. Güvenirlilik herhangi bir küvet modeli için zaman periyodu boyunca azalır yani ürünler zamanla bozulmaya devam eder. Erken ölüm bölgesinin, olgunlaşmamış tasarım ve üretim süreçlerinden

kaynaklanan kalite sorunları, standart dışı malzemeler, yetersiz hata ayıklama ve insan hatalarından kaynaklanan arızaları temsil ettiği varsayılmaktadır (Ebeling, 1997). Küvet modelinin ikinci bölgesi olan faydalı ömür periyodu, sabit bir hasarlanma oranı ile gösterilmektedir. Bu bölgenin, çevresel yükler, kötü amaçlı veya yanlış kullanım gibi rastgele olaylardan kaynaklanan arızaları temsil ettiği varsayılmaktadır (Dhillon, 2006). Küvet modelinin üçüncü bölgesi, yıpranma süresi olarak adlandırılır ve artan hasarlanma oranı ile karakterize edilir. Küvet modeli, yıpranma mekanizmalarından kaynaklanan arızaların sadece bu bölgede meydana geldiğini varsaymaktadır. Bir ürünün faydalı ömrünün ne kadar olduğunu, yıpranmanın nerede başladığını tespit etmek için ömür testi yapılır. Ömür testi, normal çalışma koşullarında yapılırken, hızlandırılmış ömür testi (Accelerated life testing, ALT) ise aynı sonuca daha kısa sürede ulaşmak için normal çalışma koşullarının üzerinde yapılır (Kentved, 2011). Hızlandırılmış ömür testlerinin amacı, ürünün normal kullanım koşullarında maruz kaldığı stres seviyesini artırarak hata yapma süresini kısaltmaktır (Tekcan Vd., 2011). Bu sayede, ürünün ömrü veya performansıyla ilgili analiz verileri hızlı bir şekilde üretilir. Hızlandırılmış ömür testlerinde kullanılan başlıca stres, zaman içinde ürünün performansını kademeli olarak düşüren herhangi bir kaynak olabilir. Bunlar, sıcaklık (yüksek, düşük, döngüsel), titreşim (rastgele, sinüzoidal, şok), nem, güneş radyasyonu gibi çevresel stres türleri veya voltaj, akım, mekanik (sürtünme, gerginlik, sıkıştırma) gibi kullanıma bağlı stres türleri olabilir. Buna bağlı olarak performans kriteri, direnç, çıkış gücü, amplifikasyon, ışık şiddeti, kaçak akım, mekanik mukavemet, malzeme kaybı, korozyon tabakasının kalınlığı, renk gibi ürün performansını gösteren herhangi ölçülebilir bir büyüklük olabilir. ALT, komple lityum iyon pil sistemlerinin (Chiodo Vd., 2016), güç elektroniği düzeneklerinin (Bormanis ve Ribickis, 2018) ve akıllı elektrik sayacının (Qi Vd., 2011) ömür değerlendirmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada ise karbon emisyonlarını ve yakıt tüketimini azaltmayı hedefleyen hibrit elektrikli araç teknolojisi ALT'ye tabi tutulmuştur.

Bu çalışma, otomotivde kullanılan elektrikli güç sistemlerinin ömür testleri için temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Çalışmada öncelikle hafif hibrit güç sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 2'de kullanılan yöntem açıklandıktan sonra Bölüm 3'de geliştirilen test standı ve fonksiyonel test çevrimi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Arrhenius yöntemiyle yapılan hızlandırılmış test ve sonucu Bölüm 4'de verilmiştir.

2. Hafif Hibrit Araç Güç Sistemleri

Şehir içi toplu taşıma, hibritleşme ve elektrifikasyonun sunduğu imkanlara ihtiyaç duyan alanlardan biridir. Küresel şehir içi otobüs filosunun yaklaşık 3 milyon adet olduğu tahmin edilmektedir (Bloomberg, 2018). 2015 yılında 9 metreden uzun şehir içi otobüsleri içeren küresel ağır hizmet toplu taşıma otobüslerinin pazar büyüklüğü 111000 adede ulaşmıştır. Bu büyüklüğün %17'sini (18900 adedini) hibrit veya elektrikli otobüsler oluşturmaktadır.

Hibrit elektrikli araçlar (Hybrid electric vehicle, HEV) geleneksel bir araç gibi içten yanmalı bir motora (Internal combustion engine, ICE) ve elektrikli bir araç (Electric vehicle, EV) gibi bir elektrik motoruna sahiptir. Hibrit araçlar, tekrar şarj edilebilir enerji saklama sistemleri (rechargeable energy storage system, RESS) menzil ve maliyet sorununu halledene kadar “geçiş modeli” niteliğindedir. Elektrikli araçlar otomotiv dünyasının geleceği olarak görülmektedir (Özbay Vd., 2020).

HEV aktarma organ topolojileri, seri, paralel ve karma hibrit olarak adlandırılan üç ana kategoride sınıflandırılır. Seri hibrit topolojide, bir elektrik motoru aracı tek başına hareket ettirir. ICE, yalnızca gerektiğinde fosil yakıtı elektrik enerjisine dönüştürmek için çalışır. ICE'nin aktarma organlarına doğrudan katkısı yoktur. Paralel hibrit topolojide, ICE ile elektrik motoru, aracı ayrı ayrı veya birlikte hareket ettirebilecek şekilde bağlanır. Araç yüksek hızlara ulaştığında ICE, güç talebini karşılar. Sürücünün güç gereksinimine bağlı olarak, elektrik motoru, ICE'nin yeterli olmadığı durumlarda araca ek güç sağlar. Anlık yüksek güç gereksinimleri durumunda, elektrik motoru ve ICE, aracı birlikte hareket ettirmek için çekiş sağlayabilir. Bu nedenle güç yönetimi, seri hibrit araçlardan daha karmaşıktır. Karma (seri-paralel) hibrit topolojide, ICE ve elektrik motoru, paralel hibrit araçlarda olduğu gibi aracı ayrı ayrı veya birlikte hareket ettirebilir. Ayrıca ICE, seri hibrit araçlarda olduğu gibi aktarma organlarına doğrudan katkı sağlamadan fosil yakıtı elektrik enerjisine dönüştürmek için generator gibi çalışabilir. Karma hibrit araçların güç yönetimi, paralel hibrit araçlardan daha karmaşıktır.

Hibrit araçlar için bir diğer sınıflandırma ise elektrik gücünün kabiliyetini gösteren “hibritleşme” oranıdır. Piyasadaki hibritler arasında, Tablo 2’de gösterilen mikro, hafif ve tam ve plug-in gibi farklı hibridizasyon seviyeleri vardır. Mikro hibrit modellerin çoğu, dur-kalk ve rejeneratif frenleme işlevlerine sahiptir. Hafif ve tam hibritler, ilave olarak araç tahrikine yardımcı olur (sürüş destek modu). Yalnızca tam hibrit araçlar, aracı tek başına tahrik etme yeteneğine sahiptir (elektrik modu). Plug-In hibrit araçlar (PHEV) ise tam hibrit özelliklere ilave olarak maliyeti daha düşük olan şebeke enerjisiyle de şarj olma özelliğine sahiptir (Terzi Vd., 2020).

Son yıllarda, düşük batarya gereksinimi sebebiyle hafif hibrit sistemlerin göreceli az maliyeti, birçok şehir içi otobüs üreticisinin dikkatini çekmiştir. Hafif hibrit sistem, tam hibrit araca doğru kısmi bir adım olarak düşünülebilecek paralel bir topolojidir. Bir enerji depolama sistemi (48V süper kapasitörler veya lityum iyon pil), düşük güce sahip (toplam araç gücünün %20 sini aşmayan) entegre bir elektrikli makinesi ve güç elektroniği (sürücü/invertör) kullanılarak tasarlanır.

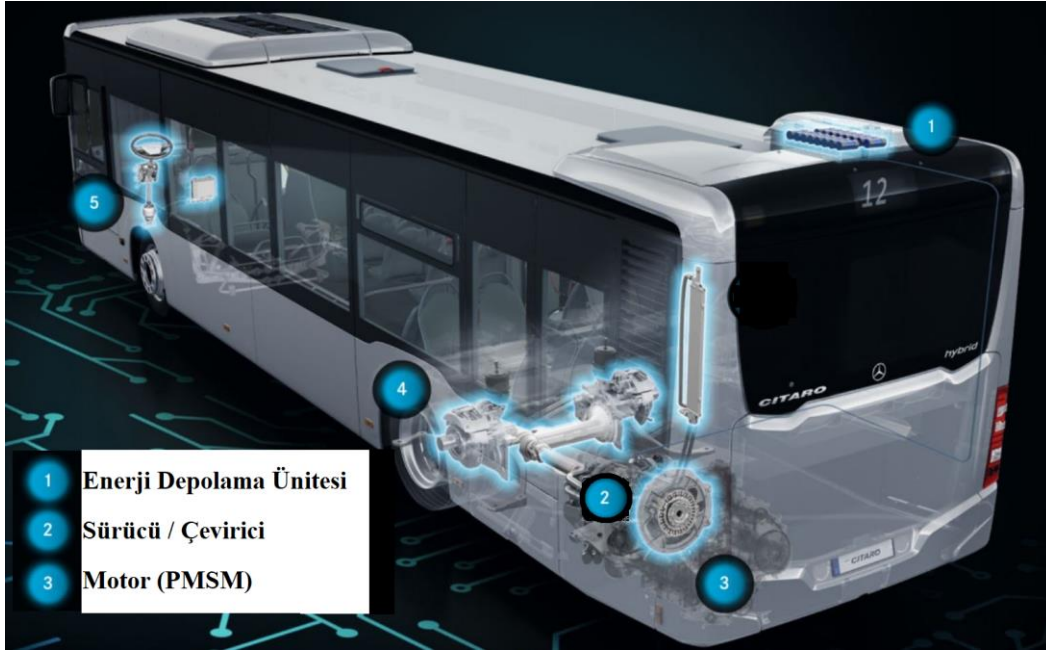
Tablo 2. Araçların hibritleşme oranı

Hibrit Fonksiyonlar	Mikro Hibrit	Hafif Hibrit	Tam Hibrit	PlugIn Hibrit
Stop-start özelliği	✓	✓	✓	✓
İlave yüklerin elektrifikasyonu	✓	✓	✓	✓
Rejeneratif mod	✓	✓	✓	✓
Sürüş destek modu		✓	✓	✓
Elektrik sürüş modu			✓	✓
Dışarıdan şarj imkanı				✓

Birçok otobüs üreticisi için hafif hibrit sistem, mevcut modelleri daha az geliştirme bütçesi ile modern teknolojilere uyarlama için makul bir seçenektir. Bu uyarlamalardan biri, daha düşük tüketim, hızlı amortisman, basit sürüş teknolojisi, düşük ağırlık ve az yer kaplamayı hedefleyen Mercedes Citaro hafif hibrit teknolojisidir. Citaro şehir otobüsünün hafif hibrit sistemi Şekil 3’de gösterilen üç ana parçadan oluşur; ICE ve şanzıman arasına entegre edilmiş disk şeklinde bir elektrikli makine, entegre sürücü/çevirici (driver/ inverter) ve enerji depolama (mild hybrid storage, MHS) birimidir. Sabit mıknatıslı senkron motor (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) olan elektrik makinesinin gücü 14 kW olup 220 Nm’ye kadar tork sağlayabilmektedir. Citaro hibrit topolojisi basittir; disk şeklindeki ve sağlam yapıları elektrik motoru, ICE ile otomatik şanzıman arasına entegre edilmiştir. Citaro hafif hibrit, otobüsün yavaşlaması sırasında jeneratör görevi görür, fren pedalına basıldığında ve gaz pedalına basılmadığında sürüklenme enerjisini (coasting energy) elektrik enerjisine dönüştürür ve depolar. Hibrit teknolojisi olmadan, geri kazanılan bu enerji ısı enerjisi olarak çevreye salınmış olacaktır. Sürücünün fren talebi, pedal açısı sensörü tarafından algılanır ve rejeneratif fren sistemi kontrol ünitesine iletilir. Rejeneratif fren sistemi kontrol ünitesi, güç elektroniği kontrol ünitesi ile sürekli iletişim kurar ve fren torkunu talep eder. Güç elektroniği kontrol ünitesi, rejeneratif olarak ne kadar frenleme torkunun geri kazanılabileceğini ilişkin sinyalleri rejeneratif fren sistemi kontrol ünitesine iletir. Hibrit teknolojisi aynı zamanda otobüsün hızlanması sırasında motor gibi çalışarak gaz pedalına basıldığında depolanmış enerjiyi mekanik güce dönüştürür. Desteklenen içten yanmalı motor kalkışta daha az güç üreterek yakıt tasarrufu sağlar. Bu, yanmalı motorun verimliliğini artırarak yakıt tüketimine ve dolayısıyla emisyonların azalmasına katkıda bulunur (Mercedes Citaro).

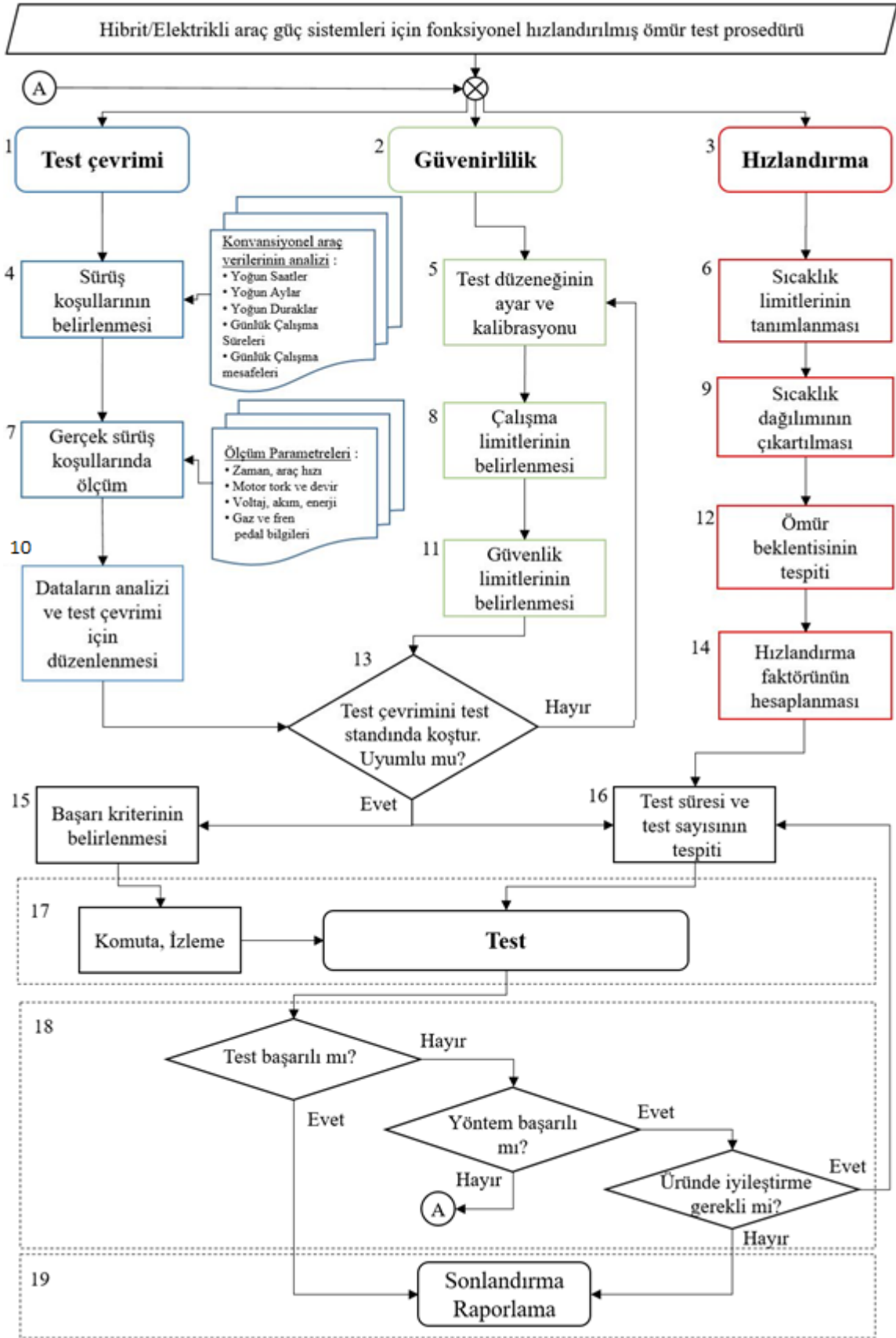
3. Kullanılan Yöntem

Hafif hibrit araçların elektrikli güç sistemleri için fonksiyonel hızlandırılmış ömür test prosedürü Şekil 4 de verilmiştir. Bu prosedür ömür testinde kullanılacak çevrim (1), güvenilirlik süreçleri (2) ve hızlandırma sürecinden (3) oluşmaktadır. Güvenirlik süreçleri (2) test düzeneğinin tekrarlanabilir ve arzu edilen biçimde çalışması için gereken asgari tebdirleri ihtiva eder. Bunlar, test düzeneğinin ayar ve kalibrasyonu (5), çalışma limitlerinin (8) ve güvenlik limitlerinin belirlenmesidir (11).



Şekil 3. Citaro şehir otobüsünün hafif hibrit sistemine ait üç ana parçası (Citaro)

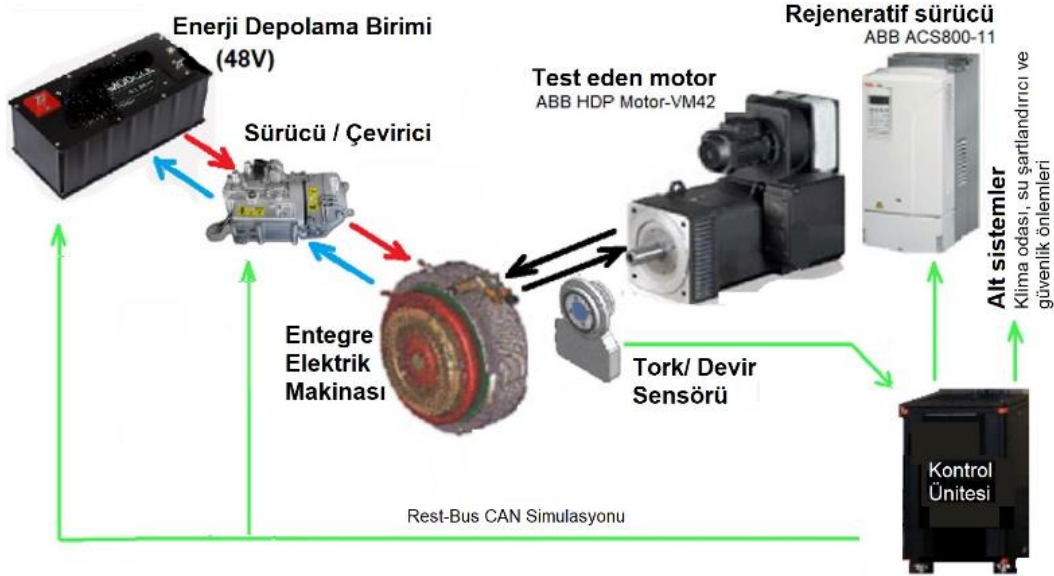
Testin üzerinde gerçekleştirildiği ve metodolojinin uygulandığı düzeneğin (mekanik, elektrik, yazılım ve kontrol ünitelerinin) bir bütün halinde uygun çalıştığından ve bunun çalışma süresince bozulmadığından emin olunmalıdır. Gerekli hallerde periyodik kontrol ve kalibrasyon adımları planlanmalıdır. Çalışma limitlerinin (aşırı devir, aşırı hız, aşırı ısı, düşük gerilim veya elektrik kesintisi, muhtemel hata durumlarının) tespiti ve bu durumlardaki sistem tepkisi (uyarı, stop) belirlenmelidir (8). Benzer şekilde, güvenlik limitlerinin (acil durum butonu, kapalı alan ihlali) tespiti ve bu durumlardaki sistem tepkisi (uyarı, stop) belirlenmelidir (11). Araç üzerindeki parçaların gerçek hayat şartlarında maruz kaldığı kullanım şartları ülke ve müşteri bazında değişkenlik arz etmektedir. Bu şartların tespiti için hedef pazara ait araç tipi, iklim ve atmosfer şartları, hız, devir, ivme gibi sürüş tercihleri, yol topolojisi ve yük durumu gibi gerçek sürüş koşulları (1) belirlenmelidir. Test şartlarının gereğinden yumuşak olması testin zorlayıcılık özelliğini ortadan kaldırırken, gereğinden fazla sert olması da sahada oluşmayacak hataların test esnasında oluşmasına neden olacaktır. Bu yüzden hedef pazara ait koşulların ve sürüş tercihlerinin (4) belirlenmesi önem arz etmektedir. Tespit edilen gerçek sürüş koşullarında hibrit güç sistemlerinin performansı (akım, gerilim, devir, tork, güç, sıcaklık gibi asli parametreler) ölçülmelidir (7). İstatiksel yöntemlerle uzun süreli sürüş verilerinden temsili bir test çevrimi yerine uygunluğuna karar verilmiş bir iklim ve etaba ait sürüşün tamamını veya bir kesitini test çevrimi olarak kullanmak mümkündür. Bu sayede, gerçek sürüş koşullarını yansıtan fonksiyonel bir test çevrimi elde edilir (10). Ancak bu test çevriminin hedef araç tipi ve hedef pazarın ihtiyaçlarına cevap verdiğinden emin olunmalıdır. Hibrit/elektrikli araçların güç sistemleri fonksiyonel test çevrimi ile test düzeneğinde çalıştırılmalı ve performansı ölçülerek yol testindeki performansıyla karşılaştırılmalıdır (13). Bu iki performans arasında kabul edilebilir seviyeden daha yüksek bir fark varsa 5 nolu adıma geri dönmelidir. Bu test çevrimi ile yapılacak bir ömür testi uzun süre alacağından hızlandırma prosedürü uygulanır. Burada, normal şartlar altında maruz kalınan sıcaklığı ömür testi için artırarak testin daha kısa bir sürede tamamlanması öngörülmüştür. Teste konu olan sistem ve parça sıcaklık limitlerinin tanımlanması (6) ve hedef pazar için sıcaklık dağılımının çıkartılması (9) gerekmektedir. Ayrıca, ürünün ömür beklentisi (12), başarı kriteri ve güvenilir bir testin kaç numune sayısı ile gerçekleştirileceği (test yeter sayısı) tespit edilmelidir (16). Bu üç bilginin (6, 9 ve 12) netleştirilmesiyle, hızlandırma faktörü Arrhenius yöntemi ile hesaplanır (14). Böylelikle testin ne kadar kısaltılacağı ve hızlandırılmış ömür testinin ne kadar süreceği ortaya çıkarılır (16). Test çevrimi (1), güvenilirlik (2) ve hızlandırma (3) süreçlerinin tamamlanmasıyla teste başlanılır. Test süresince izleme, ihlal, ikaz ve kontrol gerçekleştirilir (17). İlk numune testinden sonra yöntemin başarısı sorgulanır. Testin yöntemiyle ilgili bir sıkıntıda test süreci tekrar gözden geçirilir. Yöntem başarılıysa test kanaat oluşturacak sayıda tekrar edilir. Ürünün iyileştirme ihtiyacı varsa test tekrarı planlanır, yoksa test süreci sonlandırılıp, raporlama yapılır.



Şekil 4. Hibrit/Elektrikli araç güç sistemlerinin ömür testinde kullanılan prosedür

4. Test

Bu çalışmada hafif hibrit güç sisteminin ömür testi yapabilmek için test düzeneği (test standı) geliştirilmiştir. Test standı, dinamik mekanik yük, devir, elektrik gücü, yüksek ortam sıcaklığı, ısıtma/soğutma ve CAN-Bus simülasyonu gibi gerçek dünya koşullarını sağlayabilmektedir. Bu test standı ile, hibrit güç sisteminin muhtemel hataları erken aşamada tespit edilerek, zaman ve maliyet avantajı sağlayacaktır. Geliştirilen test standının fiziksel diyagramı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Hafif hibrit test sistemin fiziksel diyagramı

Hafif hibrit test standı şu alt sistemlerden oluşmaktadır:

- Kontrol ünitesi
- Test motoru ve rejeneratif sürücüler
- Tork-devir sensörleri
- Harici su şartlandırıcı (Chiller)
- İklim odası

A. Kontrol ünitesi: Ana kontrol ünitesi, test standının merkezi komuta sistemi olarak işlev görür. Önceden tanımlanmış test dizilerini çalıştırır ve gerçek zamanlı günlük kayıt yapar. Intel i7 CPU ve farklı tipte çevre birimlerine sahip endüstriyel bir PC'dir (MpiCON). Ana kontrol parametresi olan motor devir sinyali (test çevrimi), kontrol ünitesi tarafından test motorunun rejeneratif sürücüsüne gönderilir. Test edilen hafif hibrit veya test sisteminden gelen hata sinyalleri kontrol ünitesi tarafından izlenerek uyarı verilmesi veya gerekirse testin durdurulması sağlanır. Klima odası, su şartlandırıcı ve güvenlik önlemleri gibi alt sistemler de kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Test standını kontrol etmenin yanında, anlık değerleri görmeyi ve alarm durumlarını izlemeyi sağlayan kontrol yazılımına sahiptir. Bu yazılıma ait arayüz Şekil 6 da gösterilmiştir.

B. Test motoru ve rejeneratif sürücü: İçten yanmalı motoru simüle etmek için, entegre elektrikli makinenin ters yönünde çalışan bir test motoru ve onun rejeneratif sürücüsü kullanılmıştır. Gerçek tork ve anlık devri izlemek için test eden ile test edilen motorlar arasında bir tork/devir sensörü yerleştirilmiştir. Bu sayede, gerçekleşen değerleri görmek, kalibre etmek mümkün hale gelmektedir. Test motoru olarak yüksek dinamik performansa sahip ABB HDP Kare Kafesli Motor-VM42 H132 kullanılmıştır. Maksimum hızı 8000 rpm'e ve maksimum gücü 42 kW'a ulaşan test motoru, test edilen motora uygun olarak 1500 rpm'de 274 Nm sağlayabilmektedir (ABB HDP Series motor). Test motorunun sürücüsü olarak, kompakt halde duvara monte edilebilen bir rejeneratif sürücü olan ABB ACS800-11 55kW kullanılmıştır (ABB ACS800 driver). Rejeneratif sürücü ile, enerji şebekeye geri beslendiği için mekanik veya dirençli diğer frenleme yöntemlerine kıyasla önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 6. Kontrol yazılımının arayüzü

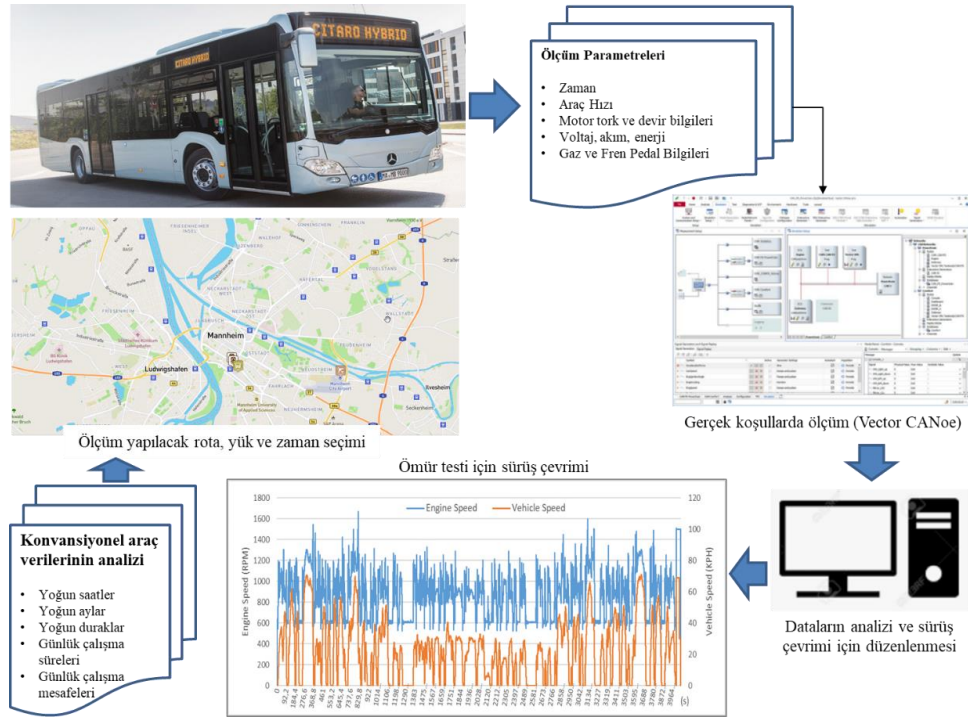
C. İklimlendirme odası: Test edilen cihazın ortam sıcaklığını istenilen seviyede tutmak için iklimlendirme odası kullanılmıştır. Oda, aynı anda iki numunenin testine olanak sağlayan 640 cm³ hacimli izole duvarlara sahiptir. Toplam 15 kW rezistif tip ısıtıcılar, solid-state röle ile kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Kontrol ünitesi ayrıca gerektiğinde aşırı ısıyı dışarı aktarmak için odanın çatısında bulunan iki klape motorunu ve yeterli ısı dağılımı için bir sirkülasyon fanını kontrol eder. Oda sıcaklığı kontrol ünitesi tarafından izlenmektedir.

D. Harici su şartlandırıcı (Chiller): Hafif hibrit test standından bağımsız olarak, soğutma suyunun sıcaklığını istenildiği seviyede tutmak için yüksek kapasiteli bir chiller kullanılmıştır. Soğutma suyunun su akışı, LIN iletişimi aracılığıyla hafif hibrit sistem tarafından düzenlenir. Soğutma suyunun sıcaklığı ve debisi, herhangi bir arıza durumunda uyarı vermek veya testi durdurmak için kontrol ünitesi tarafından izlenmektedir.

E. Güvenlik önlemleri: Test boyunca sürdürülebilir güvenliği sağlamak için acil durum butonu, güvenlik çit panel ihlali elektriksel olarak kontrol ünitesi tarafından izlenerek uyarı vermesi ve herhangi bir arıza durumunda testi durdurması sağlanmıştır. Ayrıca Vector tarafından geliştirilen CANoe aracılığıyla test standındaki elektronik kontrol ünitelerinin kalibrasyonu ve hata teşhisi yapılmıştır (Vector CANoe).

4.1. Fonksiyonel Sürüş Çevrimi

Dayanım ve ömür testlerini yapabilmek için “standardize edilmiş temsili araç sürüş şablonu” olarak tarif edilen sürüş çevrimlerinden faydalanılır. Sürüş çevrimlerinin dar bir zaman aralığında (genelde bir saatten daha az), hedef araç ve yol şartı için geçerli olan gerçek sürüş şartlarını en iyi şekilde temsil etmesi istenir. Bir çevrim ya yapay olarak üretilir ya da gerçek verilere dayanır. Bu, bir çevrim için hazırlanış sürecinde karar verilen bir kriterdir. Yapay (modal) çevrimler teorik olarak çeşitli modlarla oluşturulan çevrimlerdir. NEDC (Avrupa) ve 10-15 mod (Japonya) gibi çevrimler suni olarak üretildiği için ivmelenme karakteristikleri gerçek sürüş koşullarında olmayacak kadar düzdür. FTP (Amerika), Artemis, Hyzem (Avrupa’daki gayri resmi çevrim) ve WLTP gibi gerçek çevrimler ise gerçek sürüş verilerinin kullanılması ile oluşturulmuştur. Bu çevrimler sentetik çevrimlere göre daha dinamiktir ve bu çevrimler sayesinde yapay çevrimlere göre gerçeğe daha yakın emisyon değerleri ölçülür (Korkmaz Vd., 2019). Sürüş çevrimlerinin bir diğer avantajı hibrit/elektrikli araçların tasarımı ve testlerine olanak tanınmasıdır. Daha önceleri sadece yakıt ve emisyon testleri için kullanılan sürüş çevrimleri, son yıllarda yapılan çalışmalarda batarya kapasitesi, elektrik motorunun gücü gibi kritik parametrelerin tayini için de kullanılmaya başlanmıştır. Geller ve Bradley, araç tasarımında sürüş çevrimlerinin optimizasyon üzerindeki etkisini nicel olarak anlamayı ve minimum simülasyon ile sağlam araç tasarımına yol açabilecek sürüş çevrimlerini belirlemeyi amaçlayan bir çalışma yapmıştır (Geller Vd., 2015).



Şekil 7. Fonksiyonel sürüş çevrimi ve elde etmek için kullanılan yöntem

Karabasoglu ve Michalek, sürüş modellerinin hibrit ve plug-in elektrikli araç güç aktarma organlarının yaşam döngü maliyeti ve emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir (Karabasoglu ve Michalek, 2013). Schwarzer ve Ghorbani, oluşturdukları yöntemle elektrikli araçların tasarım ve kontrol algoritmalarının iyileştirmesini yapmıştır (Schwarzer ve Ghorbani, 2013). Zaccardi ve Le Berr, 18 farklı sürüş çevrimini elektrikli araçların performans analizi için karşılaştırmıştır (Zaccardi ve Le Berr, 2013). Carlson ve arkadaşları FTP-72 çevrimini kullanarak sert sürüş stilinin paralel ve karma PHEV modelleri üzerindeki etkisini incelemiştir (Carlson Vd., 2009). Kaymaz ve arkadaşları İstanbul Metrobüs hattı için bir sürüş çevrimi oluşturmuş ve bununla hattın hibritleşme/elektrifikasyon potansiyelini incelenmiştir (Kaymaz Vd., 2019).

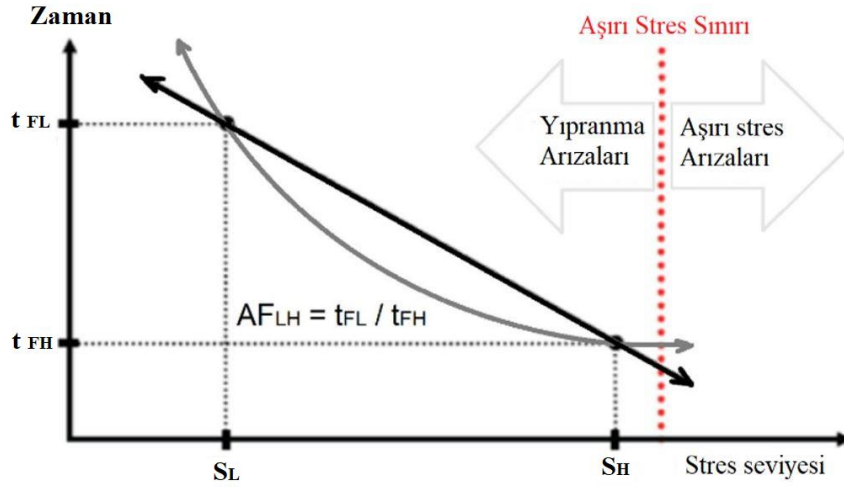
Çalışmada yapay bir test çevrimi yerine gerçek sürüş koşullarında elde edilen veriler kullanılmıştır. Gerçek sürüş koşullarının tespiti için hafif hibrit prototip bir otobüsten veri alınmıştır. Alınan veri (ölçüm) öncesinde bölge (topoloji), zaman (iklimsel/dönemsel farklar, trafik ve yolcu yoğun saatler), sürüş stiline (sert, normal veya yumuşak kullanım) seçimi önemlidir. Ölçümde elde edilen veri seti analiz edilerek, trafik sebebiyle aşırı bir duruş varsa -test verimini arttırmak için- çıkartılır ve stant üzerinde koşutur. Stant, gerçek sürüş koşullarıyla karşılaştırılarak doğrulanır ve elektriksel büyüklükler açısından kabul edilebilir farklar oluşana değin stant kalibrasyonu ve doğrulama işlemine tekrar edilir. Mannheim şehir sürüşü (SSM) için alınan gerçek sürüş grafiği ve elde etmek için kullanılan yöntem Şekil 7 de verilmiştir.

4.2. Hızlandırılmış Ömür Testi

Hızlandırılmış ömür testlerinin (ALT) amacı, ürünün normal kullanım koşullarında maruz kaldığı stres seviyesini artırarak hata yapma süresini kısaltmaktır. Erken kayıp veya erken arızalar hariç, test sırasında meydana gelen arızalar Şekil 7 de gösterildiği gibi yıpranma ve aşırı stress arızaları olarak ikiye ayrılır. Aşırı stress arızaları zamandan bağımsız arızalardır, yıpranma arızaları ise zamana bağlıdır. Bu nedenle, yalnızca yıpranma arıza mekanizmaları hızlandırılabilir. Hızlandırılmış ömür testleri her zaman ürünün “kabul edilebilir stress sınırları” içinde yapılmalıdır.

ALT için hesaplama yöntemlerinden biri Arrhenius modelidir. Bu model, sıcaklık artışı nedeniyle hızlandırma artışını tahmin etmekte kullanılır. Arrhenius modeli, kimyasal reaksiyonlara, difüzyon veya geçiş (migration) süreçlerine bağlı hata mekanizmaları için başarıyla kullanılmıştır. Bu sayede, elektronik ekipman arızasına neden olan mekanik harici (veya dayanımsal olmayan) arıza modlarının

çoğunu hızlandırmak mümkündür (NIST/Sematech, 2013). Arrhenius hızlanma faktörü (AF_{LH}), Şekil 7'de gösterildiği gibi iki farklı stres seviyesindeki (S_L , S_H) arıza süreleri (t_{FL} , t_{FH}) arasındaki orandır.



Şekil 7. Hızlandırılmış ömür testlerinin temel prensibi

Bu çalışmada, yüksek sıcaklık bir stres kaynağı olarak kabul edilmiş ve Eş. 1'de verilen Arrhenius modeli ile hızlandırma faktörü hesaplanmıştır:

$$AF_{LH} = \frac{t_{FL}}{t_{FH}} = \frac{A_t \cdot e^{\frac{Ea}{k \cdot T_L}}}{A_t \cdot e^{\frac{Ea}{k \cdot T_H}}} = e^{\frac{Ea}{k} \left(\frac{1}{T_L} - \frac{1}{T_H} \right)} \quad (1)$$

- AF_{LH} = Hızlandırma Faktörü
- T_L = Düşük sıcaklık [K]
- T_H = Yüksek sıcaklık [K]
- t_{FL} = Düşük sıcaklıktaki hata zamanı
- t_{FH} = Yüksek sıcaklıktaki hata zamanı
- Ea = Aktivasyon enerjisi [eV] = 0.45 eV
- k = Boltzmann sabiti = $8.617 \cdot 10^{-5}$ [eV/K]
- T_{TEST} = Test sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
- T_{FIELD} = Hedef bölgenin sıcaklığı [$^{\circ}$ C]
- P_{FIELD} = Hedef bölge sıcaklığının dağılımı [%]

Genel olarak, her yıpranma mekanizmasının kendine özgü bir aktivasyon enerjisi vardır. Ea ne kadar yüksek olursa, hızlanma faktörü ve dolayısıyla artan sıcaklığa duyarlılık o kadar yüksek olur. Elektronik ve mekanikte gözlenen yıpranma mekanizmaları için tipik aktivasyon enerjileri 0,3 eV ila 1,3 eV aralığındadır (Kentved, 2011). Bu çalışmada Ea , Mercedes-Benz Company Standard'daki referansla aynı olarak 0,45 eV alınmıştır (MBN, 2013).

İklimi daha soğuk olan bir şehrin seçilmesi hızlanma faktörünü yükseltir ve test süresini kısaltır. Bu nedenle, tablo 2'de sıcaklık dağılımı verilen İspanya Madrid, hedef pazar ihtiyacı açısından kötü durum senaryosu olarak seçilmiştir. Hafif hibrit güç sisteminin soğutma sisteminin sıcaklık dağılımı için T_{FIELD} değerine 23,3 C eklenmiştir. Soğutma sıvısının müade edilen en yüksek sıcaklığı, test edilen hafif hibrit sistem için 85 $^{\circ}$ C olmasına rağmen, sistemin performans kaybı 80 $^{\circ}$ C'de başladığından hızlandırılmış ömür testi 74 $^{\circ}$ C'de (T_{TEST}) gerçekleştirilmiştir. T_L ve T_H değerleri Eş.2 ve Eş.3'e göre hesaplanmıştır.

$$T_L = T_{FIELD} + 23,3 + 273,15 \text{ in } K \quad (2)$$

$$T_H = T_{TEST} + 273,15 = 74 + 273,15 = 347,15 \text{ K} \quad (3)$$

$$AF_{LH_OVERALL} = 1 / \sum (P_{FIELD} / AF_{LH}) \quad (4)$$

Tablo 3’de görüldüğü gibi, çalışma sırasında farklı zaman dilimlerinde farklı sıcaklıklar meydana gelmektedir. Sıcaklığın (AF_{LH_TOPLAM}) genel hızlanma faktörü, Eş. 4’te verildiği gibi tüm hızlanma faktör dağılımlarının toplamı olarak tanımlanır.

Hafif hibrit güç sisteminin etrafındaki klima odası ortam sıcaklığı, aynı hızlanma faktörünü elde etmek için ömür testi boyunca 124 °C’ye ayarlanmıştır.

Tablo 3. Sıcaklık adımları için hesaplanmış hızlandırma faktörü

T_{FIELD} (°C)	P_{FIELD} (%)	T_L (K)	T_H (K)	AF_{LH}	Ağırlıklı AF_{LH}
-6,50	0,05	289,95	347,15	19,44	0,000025
-5,50	0,15	290,95	347,15	18,28	0,000079
-4,50	0,08	291,95	347,15	17,19	0,000047
-3,50	0,10	292,95	347,15	16,17	0,000060
-2,50	0,24	293,95	347,15	15,22	0,000159
-1,50	0,21	294,95	347,15	14,33	0,000146
-0,50	0,50	295,95	347,15	13,50	0,000370
0,50	0,76	296,95	347,15	12,72	0,000596
1,50	1,24	297,95	347,15	11,99	0,001035
2,50	1,32	298,95	347,15	11,31	0,001169
3,50	2,16	299,95	347,15	10,67	0,002025
4,50	2,29	300,95	347,15	10,07	0,002273
5,50	3,22	301,95	347,15	9,50	0,003391
6,50	3,63	302,95	347,15	8,98	0,004039
7,50	3,96	303,95	347,15	8,48	0,004674
8,50	3,95	304,95	347,15	8,02	0,004925
9,50	4,14	305,95	347,15	7,58	0,005463
10,50	4,50	306,95	347,15	7,17	0,006270
11,50	3,71	307,95	347,15	6,79	0,005462
12,50	3,74	308,95	347,15	6,42	0,005821
13,50	3,72	309,95	347,15	6,08	0,006121
14,50	3,72	310,95	347,15	5,76	0,006461
15,50	3,84	311,95	347,15	5,46	0,007025
16,50	3,50	312,95	347,15	5,18	0,006757
17,50	3,63	313,95	347,15	4,91	0,007389
18,50	3,16	314,95	347,15	4,66	0,006786
19,50	3,06	315,95	347,15	4,42	0,006932
20,50	3,08	316,95	347,15	4,19	0,007342
21,50	2,63	317,95	347,15	3,98	0,006599
22,50	2,84	318,95	347,15	3,78	0,007502
23,50	2,80	319,95	347,15	3,59	0,007806
24,50	2,66	320,95	347,15	3,41	0,007788
25,50	2,69	321,95	347,15	3,25	0,008291
26,50	2,68	322,95	347,15	3,09	0,008666
27,50	2,34	323,95	347,15	2,94	0,007957
28,50	1,93	324,95	347,15	2,79	0,006920
29,50	2,14	325,95	347,15	2,66	0,008058
30,50	2,03	326,95	347,15	2,53	0,008017
31,50	2,14	327,95	347,15	2,41	0,008885
32,50	1,43	328,95	347,15	2,30	0,006240
33,50	1,64	329,95	347,15	2,19	0,007504
34,50	1,03	330,95	347,15	2,09	0,004939
35,50	0,60	331,95	347,15	1,99	0,002994
36,50	0,47	332,95	347,15	1,90	0,002461
37,50	0,15	333,95	347,15	1,81	0,000800
38,50	0,10	334,95	347,15	1,73	0,000559

$$AF_{LH_TOPLAM} = 4,65$$

Min. Beklenen Çalışma Ömrü (saat) = 40000 h

Hızlanma Faktörü ($AF_{LH_OVERALL}$) = 4,65

Hızlandırılmış Ömür Test Süresi = 8608 h

Bölüm 3’de verilen yöntem uygun olarak gerçek kullanım şartlarından elde edilen test çevrimi ile koşturulan hafif hibrit güç aktarım organlarının ömrü testi Arrhenius denklemi sayesinde 4,65 kat hızlandırılmış, saha için öngörülen 40000 saat çalışma ömrü 8608 saat olarak test edilmiştir. Testler esnasında ortaya çıkan fonksiyonel hatalar, yazılım güncellemeleri ile giderilerek testler yeniden başlatılmıştır. Yeterli sayıda numunede başarıya ulaşılması üzerine testler sonlandırılmıştır.

5. Sonuç

Bu çalışmada, şehirçi bir otobüse ait elektrikli motor, sürücü/inverter ve enerji depolama ünitesinden oluşan hafif hibrit sistem için ömür testi standı geliştirilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi testlerin ana hedefi, ürüne ait muhtemel uyumsuzlukları yaşam döngüsünün erken aşamalarında ortaya çıkarmaktır. Otomotiv testlerinde kaynakların doğru kullanımı ancak “güvenilir”, “tekrarlanabilir”, “düşük maliyetli” ve “çevre dostu” testler sayesinde mümkündür. Geliştirilen ömür testi standında, “gerçek kullanım şartlarına dayalı test çevrimi” ve “Arrhenius yöntemi” sayesinde fonksiyonel hızlandırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan şu özellikler ön plana çıkmaktadır :

1. Fonksiyonel test çevrimi : İstatiksel yöntemlerle, uzun süreli sürüş verilerinden temsili bir test çevrimi belirlemek yerine uygunluğuna karar verilmiş bir iklim ve etaba ait sürüş test çevrimi olarak kullanılmıştır. Bu sayede, sentetik bir çevrim yerine gerçek sürüş şartlarını yansıtan fonksiyonel bir test çevrimi elde edilmiştir.

2. Hızlandırılmış ömür test metodolojisinin kullanılması : Normal şartlar altında öngörülen ömür testinin 40000 saatte tamamlanması öngörülmüştü. Arrhenius yöntemi ile sıcaklık artırılarak testte hızlandırılmıştır. Böylelikle test süresi 4,65 kat hızlandırılarak ömür testi 8608 saatte tamamlanmıştır.

Bu şekilde, artırılmış güvenilirlik ve düşürülmüş test süresi sağlanmıştır. Sınırlı süre nedeniyle, uygulanan hızlandırılmış yöntemini farklı testler yaparak doğrulamak mümkün olmamıştır. Bunun yerine, uzun vadeli müşteri kullanım bulgusu ile karşılaştırma yapılacak ve -ilave bir görev olarak- sonuçlar ayrı bir çalışmada paylaşılacaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Çalışma tek yazara aittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Istanbul fabrikasında gerçekleştirilen bu çalışma Mercedes Benz Türk tarafından desteklenmiştir. Yazar, bu çalışmanın yürütüldüğü Geliştirme departmanının desteğini büyük ölçüde kabul etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

ABB HDP Series motor (t.y.), ABB Resmi web sitesi, Erişim : 11 Mart 2021.

<https://library.e.abb.com/public/bf34eb257bd6facdc1257b130056e9da/HDP%20Series%20AC%20Induction%20Servomotors-Rev12.pdf>,

ABB ACS800 driver (t.y.), ABB Resmi web sitesi, Erişim : 11 Mart 2021. https://library.e.abb.com/public/445b5e20e72624afc1257b2400493e68/EN_ACS800_11_HW_C_screen.pdf

Bloomberg (2018), *New Energy Finance report : Electric Buses in Cities, Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2*, Bloomberg Finance L.P. Yayın tarihi 2018.

Bormanis O. ve Ribickis L. (2018), *Accelerated Life Testing in Reliability Evaluation of Power Electronics Assemblies*, 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2018, pp. 1-5.

Carlson, Lohse-Busch, Duoba, ve Shidore, (2009), *Drive cycle fuel Consumption variability of plug-in hybrid electric vehicle due to aggressive driving*, SAE Technical Paper, <http://papers.sae.org/2009-01-1335/>

Chiodo E., Lauria, Andrenacci N. ve Pede G. (2016), *Accelerated life tests of complete lithium-ion battery systems for battery life statistics assessment*, 2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), Anacapri, 2016, pp. 1073-1078.

Citaro (t.y.), Citaro Hybrid Technology, Erişim : 11 Kasım 2019, <https://landtransportguru.net/mercedes-benz-citaro-hybrid/>.

Dhillon B. S. (2006), *Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

Ebeling C. E. (1997), *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York, NY, USA: McGraw-Hill.

Gaonkar A., R. B. Patil, S. Kyeong, D. Das and M. G. Pecht (2021), *An Assessment of Validity of the Bathtub Model Hazard Rate Trends in Electronics*, in IEEE Access, vol. 9, pp. 10282-10290, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050474.

Geller, B. M., ve Bradley, T. H., (2015), *Analyzing Drive Cycles for Hybrid Electric Vehicle Simulation and Optimization*. ASME. J. Mech. Des. Nisan; 137(4): 041401. <https://doi.org/10.1115/1.4029583>

ISO (t.y.) International Organization for Standardization, ISO 26262-1:2018, Road vehicles-Functional safety, Erişim : 17 Kasım 2021, <https://www.iso.org/standard/68383.html>.

Karabasoglu O., ve Michalek J., (2013), *Influence of driving patterns on life cycle cost and emissions of hybrid and plug-in electric vehicle powertrains*, Energy Policy, Sayı 60, Sayfa 445-461, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.047>.

Kaymaz H., Korkmaz H., Erdal H., (2019), *Characteristic Driving Parameters of BRT Istanbul and Evaluation of Hybridization/ Electrification Potential*, 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı, 19-21 Nisan 2019, Bandırma

Kentved A. B. (2011) *Acceleration factors and accelerated life testing*, A guide based on practical experiences, SPM Report No:179, Scandinavia.

Korkmaz H., Kaymaz H., Erdal H., (2019), *Development of a driving cycle for Istanbul bus rapid transit based on real-world data using stratified sampling method*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 75, , Pages 123-135, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.023>.

MBN (2013), Mercedes-Benz Company Standard, General Requirements, *LV 124 Test Conditions and Tests for Electric and Electronic Components in Motor Vehicles Part 2: Environmental Requirements* (intern document)

Mercedes Citaro (t.y.), Mercedes Benz Citaro Hybrid Technology, Erişim : 01 Kasım 2021, https://www.mercedes-benz-bus.com/en_GB/models/citaro-hybrid/efficiency/hybrid-technology.html.

MpiCON (t.y.), Industrial Controllers, Erişim : 23 Kasım 2021, <https://mpicon.com/controller/industrial-controller/>

NIST/Sematech (2013). *e-Handbook of Statistical Methods, Department of Commerce, U.S.* <https://doi.org/10.18434/M32189>

OICA (t.y.) Uluslararası Motorlu Taşıt Üreticileri Birliği, Erişim: 11 Ocak 2022, <https://www.oica.net/>

Özbay, H. , Közkurt, C. , Dalcı, A. Tektaş, M. (2020). *Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* , 3 (1) , 34-50. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/53369/712337>

Qi B., Sun Y., Hu W. ve Ding X., (2011), *A multi-stress Accelerated Life Tests method for Smart Electricity Meter based upon the Life-Stress Model*, The Proceedings of 2011 9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety, Guiyang, 2011, pp. 1136-1140.12

Schwarzer V., ve Ghorbani R., (2013), *Drive cycle generation for design optimization of electric vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Sayı 62, Sayfa :89-97, <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2012.2219889>

Tekcan A. T., Kahramanoğlu G., Yatır M. N., Kirişken B., Gündüzalp M. (2011), *Saha Geri Dönüş Oranını AR-GE Aşamasında İndikatör ile Tahmin Etme Yöntemi*, EMO Bilimsel Dergi, Cilt 1, Sayı 2, Syf 67-74, Aralık 2011

Terzi, U. K., İlhan, H. E., Kaymaz, H., Erdal, H., & Çalik, H. (2020). *A Review of Commercial Electric Vehicle Charging Methods*, Promet-Traffic&Transportation, 32(2), 291-307.

Vector CANoe (t.y.), Erişim : 22 Nisan 2021, <https://www.vector.com/int/en/products/products-a-z/software/canoe/>

Zaccardi J. ve Le Berr F., (2013), *Analysis and choice of representative drive cycles for light duty vehicles - case study for electric vehicles*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Sayı 227 Sayfa 605-616, <http://dx.doi.org/10.1177/0954407012454964>

Research Article

Evaluation of the Geometry of Placement of Traffic Lights at Roundabouts on the Basis of Zoning Plans

Selim TAŞKAYA*

Artvin Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, Artvin Coruh University, Artvin, Türkiye

*Correspondence: selim_taskaya@artvin.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1102058

Abstract: It is important to make proper planning to ensure a healthy traffic flow. Especially in city centers where traffic density is high, a critical plan is important. From this point of view, while a zoning plan is being made in the zoned areas, a study was carried out to pay attention to which parameters create the connection network on the land where the zoning islands are placed. Within the scope of the study, the criteria in the traffic vehicle regulation are only to place lights, signs, etc. along the road route. it was determined that the intersection geometry was simply applied to the terrain upon measuring the horizontal distance. Along with the formation of the roundabouts with these road connections in the zoned areas, apart from the criteria such as the width of the road and the radius of the intersection, a proposal has been made on how the intersections should be placed at these points as a result of their correlation with the criteria such as precedent, height, commercial, and housing at these points during the processing of the intersections. These propositions were made with a mathematical model as a logical proposition. The mathematical model expresses how much distance average should be added to the standard lengths of the connection intersections, depending on the identity characteristics of the surrounding zoning islands, regardless of how many branches they have. In a zoning plan, which should be formed by determining the intersections connected to the roads on the main lines, in a basic zoning plan, non-standard increases in the relevant lights depending on all the characteristics of the islands to be formed in the directions of these lines were examined.

Keywords: Roundabout, Traffic Lights, Zoning Plans

Dönel Kavşaklara Trafik Işıklarının Yerleştirilme Geometrisinin İmar Planları Bazında Değerlendirilmesi

Özet: Trafik akışının sağlıklı bir şekilde sağlanması için düzgün bir planlama yapılması önemlidir. Özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu şehir merkezlerinde kritik bir plan önem arz eder. Buradan hareketle imarlı alanlarda bir imar planı yapılırken imar adalarının yerleştirildiği arazinin üzerinde bağlantı ağını oluştururken hangi parametrelere dikkat edilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında trafik taşıt yönetmeliğindeki kriterlerin sadece yol güzergahı boyunca ışık, levha konulması vb. basit şekilde kavşak geometrisinin yatay mesafe ölçümlenmesi üzerine araziye aplane edildiği tespit edilmiştir. İmarlı alanlarda bu yol bağlantılarının olduğu dönel kavşakların oluşumu ile birlikte trafik ışıklarının yolun genişliği ve kavşak yarıçapı gibi kriterlerinin dışında, kavşakların imar planlarına işlenmeleri esnasında bu noktalarda imar adalarının emsal, yükseklik, ticari, konut gibi kıstasları ile korelasyonu sonucunda nasıl yerleştirilmesi gerekliliği üzerine önerme getirilmeye çalışılmıştır. Bu önermelerde mantıksal önerme olarak matematik model ile yapılmıştır. Matematik model ile kaç kollu olursa olsun bağlantı kavşaklarının standart uzunluklarına çevresindeki imar adalarının kimlik özelliklerine bağlı olarak ne kadar mesafe ortalama eklenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Esaslı bir imar planında öncelikle ana hatlardaki yollara bağlı kavşakların belirlenmesi ile oluşturulması gerekli bir imar planında bu hatların istikametlerinde oluşacak adaların tüm özelliklerine bağlı olarak ilgili ışıkların standart dışındaki artışları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dönel Kavşak, Trafik Işıkları, İmar Planları

* Corresponding author.

E-mail address: selim_taskaya@artvin.edu.tr

ORCID: 0000-0002-4290-3684

Received 12.04.2022; Accepted 28.02.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Introduction

One of the biggest problems with the increase in the number of motor vehicles on highways is traffic congestion. For years, problems encountered in traffic have aroused great interest in many people from many parts of the world, and many different studies have been carried out to provide solutions to these problems. Researchers have left the general framework of transportation and transportation science aside and focused on traffic management, which is a more specific field under transportation science (Çakıcı, 2014). Various traffic control methods have been proposed for highway intersection areas to reduce traffic accidents that occur especially in areas where more than one highway intersects and causes material and moral losses. Roundabouts are at-grade intersections, which are applied to manage the traffic at the intersection, in the middle of the intersection, where there is usually a circular island that directs the traffic entering the intersection (Çakıcı, 2014). To eliminate the central density in the city, some intersections are arranged as roundabouts with the thought that they offer higher capacity (Kızollı, 2017). Correctly designed, placed, and operated traffic lights systematically direct the traffic flow and increase the traffic management capacity of the intersection (Aksoy, 2019). The operation of intersections is the most important factor that determines the capacities of especially urban roads. For this reason, it is expected to be highly professional in intersection arrangements for the high-capacity functioning of road networks. In the arrangement of intersections, life safety, order of traffic flow, and vehicle safety are essential. All-round safety and comfort should be a priority. For these priorities, the field of view from the approach arm should be very good. Junctions should not be a place of sudden surprise, especially for drivers. All factors that prevent drivers from seeing intersections from a distance should be removed (Guncu, 2019). He defined the road area used jointly by traffic flows in different directions as an intersection (Alemdar, 2019; Yayla, 2015). The intersection is theoretically expressed as the common areas formed by the intersection or merging of two or more highways (Alemdar, 2019; Başa, 2016). It can be expressed as areas that need to be specially designed and managed where vehicles and pedestrians overlap in the city and outside the city (Alemdar, 2019). Roundabouts are defined as intersections that allow vehicles to move in a circular motion and turn in different directions, and are directed clockwise for the situation where the traffic flows from the left around a central traffic island, and counter clockwise for the situation where the traffic flows from the right (Öğütveren, 2019; Janssens, 1994). Especially in cities with high populations, with the congestion and delays in urban intersections with heavy traffic reaching large sizes, the issue of passing superiority of vehicles turning in the intersection was discussed for the first time, and as a result, the rule of giving way to the vehicle turning around the island was applied at the existing roundabouts (Öğütveren, 2019). The report titled Suggested Design Principles for Modern Roundabouts, prepared by Sweroad, it is aimed to integrate modern roundabouts into Turkish design principles as a standard intersection type (Öğütveren, 2019; Advice on the application and use of modern roundabouts by adapting the proposed design principles to Turkish conditions). (Öğütveren, 2019). Roundabouts are directed intersections in which traffic moves counterclockwise or clockwise (relative to the direction of movement of the traffic flow) around a central traffic island (Janssens, 1994; Tanyel, 2001; Kayacan, 2022).

After giving preliminary information about the roundabout and traffic, when its relation with the zoning is examined, many factors of the route selections passed between the cadastral parcels on normal intercity roads are chosen only as climatic and ground surface, while the placement of intersections on the roads in the city depends on the zoning plans arranged as the upper and lower base. While the zoning plans are being made, it is trying to be formed in a way that will meet all the needs of the population living on the land. In this way, junctions and connection points are provided to connect the construction and common areas that will be formed by adhering to the base factors that may be caused by the clearing of untreated parcels, old cadastral roads, streams, slopes, arcs, etc., called cadastral as a base.

2. Theoretical Framework and Scope

An intersection is a common area in the road network where two or more roads intersect, converge or diverge. The intersection of vehicles coming from different directions complicates the traffic flow. For this reason, the number of accidents increases at these points, the traffic speed decreases, and traffic

jams occur, so fuel consumption, environmental pollution, and time loss increase significantly. For these reasons, the intersection it is very important for the healthy continuity of the traffic flow to be determined well, the design is made by the engineering discipline and the operation is well done (Kayacan, 2022).

Junctions are defined as the areas where traffic flows coming from 2 or more directions intersect, merge and separate in the road transport network. Most of accidents on highways occur at intersections. In addition, because the vehicles coming to the intersection want to move in different directions, while the average vehicle speed at these points decreases, the average vehicle delays, fuel consumption, and the damage of the vehicles to the environment increase. For these reasons, it is necessary to choose the intersection correctly and to design and operate the intersection in a way that gives the best performance (Öğütveren, 2019).

The following points should be considered in the design of intersections;

- The importance of the intersection in the transportation network,
- Existing traffic characteristics,
- Geometric features of the roads connecting to the intersection,
- The amount of change in traffic volumes,
- Control methods applied at close intersections and intersection performance,
- Driver and pedestrian behavior,
- Topographic and environmental conditions (Öğütveren, 2019; Umar and Yayla, 1992).

Intersection geometry is a process that proceeds in coordination with the urbanization plan by creating a model in the mathematical terrain. This geometry should be processed on the zoning plan depending on the width and height paths in parallel, especially with the topography and contour curves. If it is processed in this way, it is geometrically located in the zoning plan in the form of a series of derivatives and integrals.

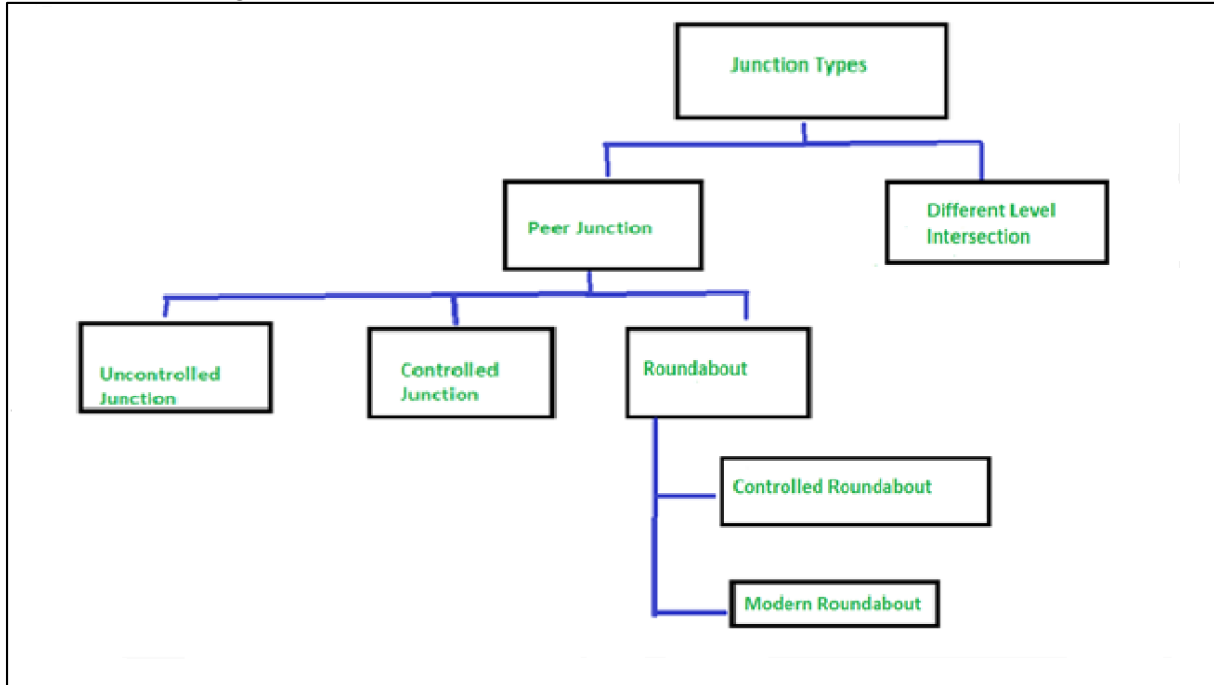


Figure 1. Types of Junctions (Öğütveren, 2019).

In Figure 1, junctions can be divided into different classes in terms of their characteristics, but they are classified into two main groups according to the planes where the approach branches intersect; At-grade (At-grade) intersections, cross-level (Köprülü) intersections (Öğütveren, 2019).

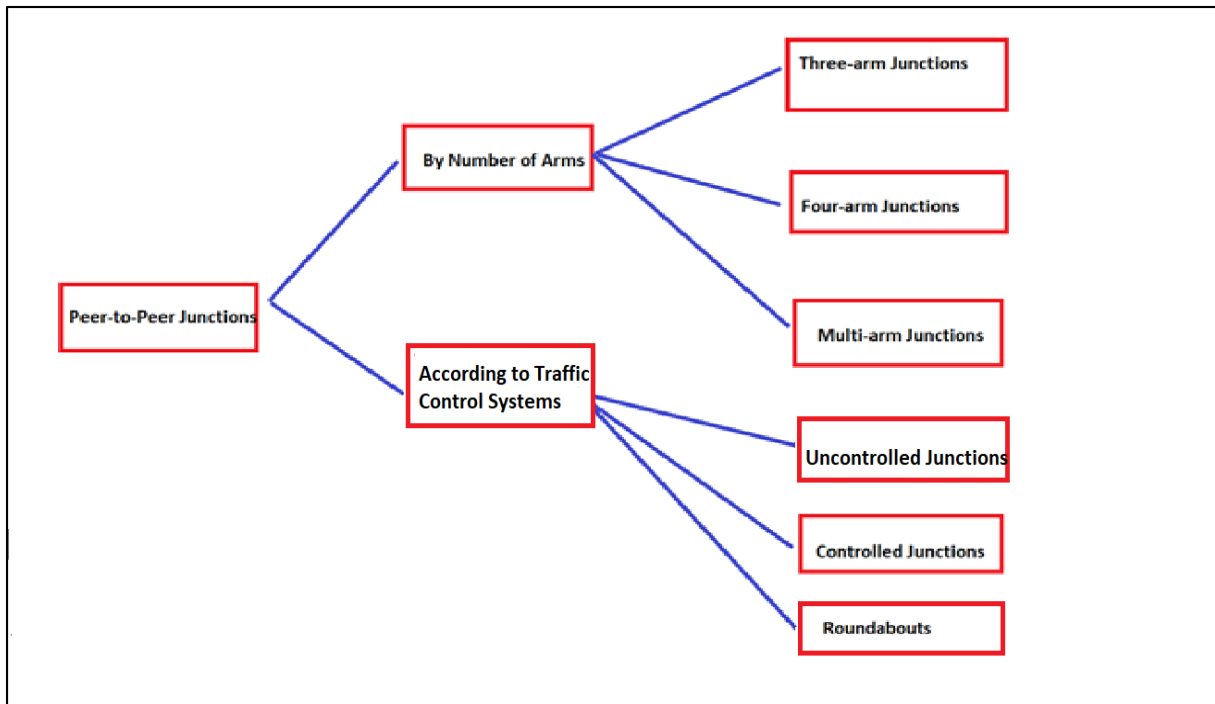


Figure 2. Classification of at-grade intersections (Öğütveren, 2019).

In Figure 2, at-grade intersections are differentiated according to the number of branches and traffic control systems (Öğütveren, 2019).

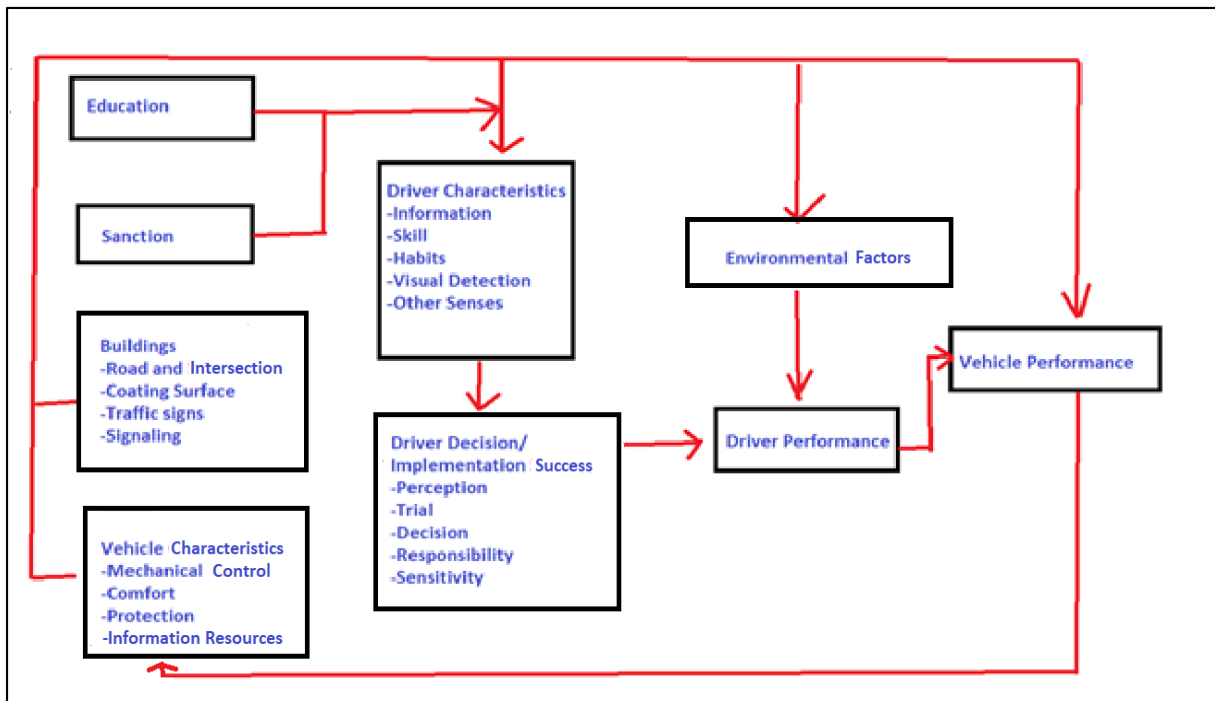


Figure 3. Traffic engineering main elements and their relations (Boz, 2019; Yılmaz, 2006).

In Figure 3, all land vehicles have their vehicle characteristics. These are values such as braking distance and acceleration time. Structures are the name given to all of the roads, intersections, and lights that we interact with in traffic at any time. The human factor assumes two different functions in transportation. These functions are the pedestrian state and the person driving the vehicle, that is, the driver. In the traffic system, the level of education, knowledge, decisions, and behaviors of a person as a driver appear as the most important factor affecting traffic (Boz, 2019). The period in which the

concept of urbanization showed the fastest rise was the industrial revolution. The use of vehicles shortly after the industrial revolution started the traffic phenomenon, which is one of the changes in urban life. With the industrial revolution, large factories were established. To work in the established factories, people started to migrate to the big cities where the factories were established. Factories have been established near cities to meet their requirements (Anbari, 2020).

Traffic signal control systems are attracting worldwide attention due to their social and economic impact.

As a result of the increase in the number of private car owners in urban areas, the problem of traffic congestion is increasing. Traffic congestion at intersections is becoming one of the main problems of urban cities due to the increase in the number of vehicles with the limitation of road infrastructure (Mohammed Ali, 2021). The importance of this becomes even more evident in crowded city centers. Traffic signal control optimization is an important and interesting problem in the field of intelligent transportation system. In addition, despite the wealth of scientific literature on the subject, it is still considered an active research area (Mohammed Ali, 2021; Rasheed et al., 2020). Traffic signal control is a method used at intersections to manage the overlapping movement of traffic flows by determining the right of way to a particular congested traffic flow for a given time (Mohammed Ali, 2021). A comparison was made between 10 African countries using indicators such as personal risk, traffic risk, road condition, education level, urban population, health status and GDP. Two different methods were used. The first is the simple averaging method and the second is a method based on theories, experiences, and literature. As a result of the study, the researchers suggested that the most appropriate indicators should be preferred in future studies instead of the best available data (Yılmaz, 2021; Oluwole et al., 2013).

All over the world, traffic counts are made in every place where there is a road, and while these counts are made, different methods are used at the level of available possibilities. Although these methods have positive and negative aspects relative to each other, there is no difference in counting the tools, which is the main purpose. Performance analyzes of intersections, whose geometry has been created and the number of vehicles passing over them, can be performed with many different computer programs today (Sarı, 2021). It is expected to respond to the transportation demand that will pass over the intersections with optimum performance. It is inevitable to provide transportation services without sacrificing security while responding to demand in this way at predetermined service levels. Crossroads, which are universally accepted as a special field of study all over the world, have been and continue to be the subject of many theses and scientific studies (Sarı, 2021; Tunç, 2003).

Intersections are the common areas of use for flows coming from two or more directions, where traffic flows meet and diverge. To prevent these accidents and to minimize the loss of life and property at intersections, which are the areas where traffic accidents are frequently seen, their designs should be made by certain criteria (Yellow, 2021; European Commission, Annual Accident Report, 2018). In intersection designs, it is important to enabling drivers to move more efficiently, to allow enough time for drivers to notice other vehicles and to react promptly, and to ensure that the driver can find enough space in the decision-making process at the intersection (Yellow, 2021; FHWA, 2004). The geometric design of intersections is a combination of three-dimensional features. The main goal is to design a collision-free intersection that flows smoothly. There are two prominent issues when designing intersection corners. These two aspects are related to the area that the vehicles scan while turning. These considerations are the pavement widths and minimum turning radii at the time of turning off the vehicles. In the determination of the intersection corners and pavement widths for different vehicle types according to the inner edge radii, the curve radius is selected depending on the design vehicle type, the traffic volume of the vehicles turning right, the speed, and the presence of a guiding island. (Yellow, 2021; Highways Design Handbook, 2007).

From the content and explanations of the figures above, after giving the applicability parts of the intersection and roundabouts in terms of traffic, when the correlation with the zoning plans is examined, technically, while the zoning plans are being made, the flat, inclined, current population amount of the land is the planning process that will be sufficient in case the population increases in a way that will meet the need after many years. Especially at the points, we call flat areas, while the zoning islands are planned as the upper base, there are road routes that adjust the two general entrances and exits of the cities, namely the northern and southern ring roads. In the city, based on these two main lines, interconnection roads are created as two, three, and four-armed intersections and

artificial networks connected. However, it is spent in the light of private properties in its cadastral parcels as a base. While passing the main and interconnection roads, care should be taken to pass them on public land, which will not coincide with expropriation. That is, in this way the main and interconnection zoning paths are created. On the mountainous land, the main connection zoning road with the only entrance and exit of the city is created.

Thus, the stable radius and distances of the roundabouts, which are already connection points according to the traffic vehicle regulation, are usually clear in the application of the zoning plan on paper. After the completion of the construction process of the intersections transferred from the paper zoning plane on the area, when the job comes to the point of ensuring traffic and human safety, this time the proportion of the population living in the construction islands formed around these roads and intersections should be considered as a factor that should be taken into account when placing these traffic lights on the roundabouts. is necessity.

3. Material and Method

When the layout of traffic lights is examined from a different point of view than the normal literature, it will be best to put the zoning plans at the rotational junctions by putting various factors into play. Evaluating these factors as propositions;

The soft set on U , where U is the non-empty universal set, E is the universal parameter set, A is the non-empty subset of E , and $P(U)$ is the power set of the U set (Orbay, 2014),

$$F: A \rightarrow P(U) \quad (1)$$

obtained with the help of the transformation and shown as (F,A) pair. In other words, a softset on U is a parameterized family of subsets of the set X . With $\alpha \in A$, the set $F(\alpha)$ will be called the α -approximation set of the soft set (F,A) (Orbay, 2014; Molodtsov,1999).

For example, $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ cluster of houses, $E = \{\text{with garden, expensive, duplex, sea view, apartment}\} = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ set of parameters, features that houses can have and $A = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \subset E$ never mind. The (F,A) soft set shows the features of these houses (Orbay, 2014).

$$F: A \rightarrow P(U) \quad (1)$$

(with garden) = $\{u_1, u_2\}$ ‘ u_1 ve u_2 houses have gardens.’

(expensive) = $\{u_2, u_3\}$ ‘ u_2 ve u_3 houses are expensive.’

(duplexes) = $\{u_3, u_4\}$ ‘The houses of u_3 ve u_4 are duplexes.’

(have sea view) = $\{u_1, u_2, u_3\}$ ‘The houses u_1, u_2, u_3 have sea view.’

We can express the soft set (F, A) as follows:

$$(F, A) = \{(x_1, \{u_1, u_2\}), (x_2, \{u_2, u_3\}), (x_3, \{u_3, u_4\}), (x_4, \{u_1, u_2, u_3\})\} \text{ is.}$$

(U) shows the set of all soft sets on U (Orbay, 2014). As seen in the example, the taxonomy of definition and value sets is made by making correlations between them.

$$M(u) = \begin{cases} 0, & u < x \\ \frac{v-x}{y-x}, & x \leq u \leq y \\ \frac{z-u}{z-y}, & y \leq u \leq z \\ 0, & u > z \end{cases} \quad (2)$$

A fuzzy number μ on U can be characterized by a dispersive function parameterized by a triplet (x,y,z) . μ is the membership function of the fuzzy number (Orbay, 2014; Kaufmann and Gupta, 1991). Based on a certain point, the way that the intersection parameters will be followed mathematically is,

$$D(D^{-1}f(s)) = D^{-1}(Df(s)) \quad (3)$$

$$D^{-1}(S) = \frac{1}{D}f(s) = \int (f(s)) dS + k \quad (4)$$

$$D(D^{-1}f(s)) = D \int f(s) ds^{\pm k} = f(s) \quad (5)$$

Fractional derivatives and integrals are very useful methods in understanding and solving real events in the world (Kısa, 2022).

From equations 1,2,3,4 and 5, information was obtained about how to design the intersection geometry together with the connecting branches mathematically, about the derivative and integral expansions and their geometries.

While talking about the general geometry of a subset or closed convex shape above, it is necessary to take into account the identity characteristics of the islands on the line when placing the intersection on the land where the diameter and radii are determined on the paper at a certain distance, compass position, and placing the traffic lights by taking the direction from the midpoints of the intersections. It would be correct to place the angle and distance, and the traffic light within a certain meter range, in line with the factors such as the amount of population that can live on that zoning island, the amount of facade and length, the density of the work entry and exit hours, to the distance to be taken as fixed.

4. Findings and Discussion

When the planning of an area is city-based, the zoning planning process comes into play. To ensure the zoning order, many legal regulations, zoning plans, and regulatory procedures have been established, and violations of these rules have been subject to various administrative sanctions. As a result of the freedom of settlement, which is considered at the constitutional level, there are rules that individuals should pay attention to in the stages of construction or building (Kaya, 2020). The zoning plans are made by the local administrations of the relevant city, by the master development plan of the ministry, with an implementation plan of 1/1000. With this plan, the required zoning islands and roads are placed on the site. It should be done by considering parameters such as population, zoning island density, density-dependent height coefficient, total construction precedents, number of branches of intersections, the width of the road, and intersection radius, in connection with mainline roads and intermediate line roads to the area. In the study, a proposal has been made on how to place traffic lights in the content factors of the zoning islands, especially around the intersections on the plan.

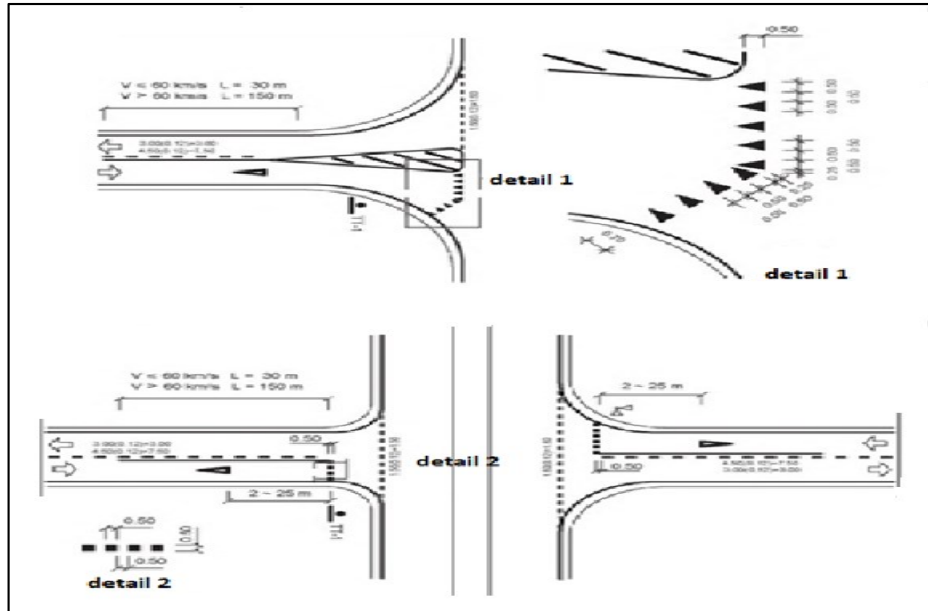


Figure 4. Display of intersection points only in terms of speed and distance (Url 1, 2022).

Figure 4 is an example that shows how to pass the distances of the vehicles, especially if the vehicles are only 60 km above or below 60 km speed, while determining the intersections according to the highways, and the roundabout pass between 2 and 25 road routes.

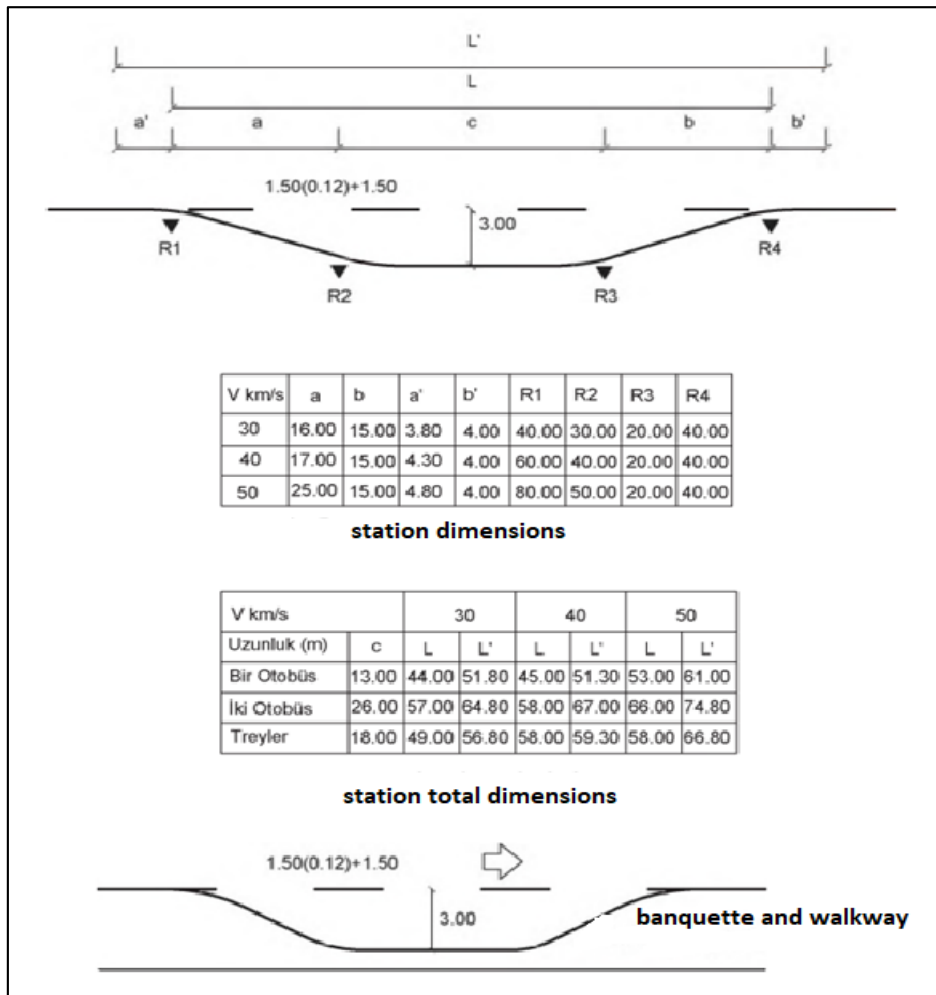


Figure 5. The placement of the stops according to the speed according to the highways (Url 1, 2022).

In Figure 5, a table has been prepared on how to apply distance according to speed in station placements according to highways. As this example shows, the fixed idea has often been speed and distance. The starting point of our propositions is the correlation of such parameters with the zoning plan. Highways have set the standards for placing all lines and signs (Url 2, 2022).

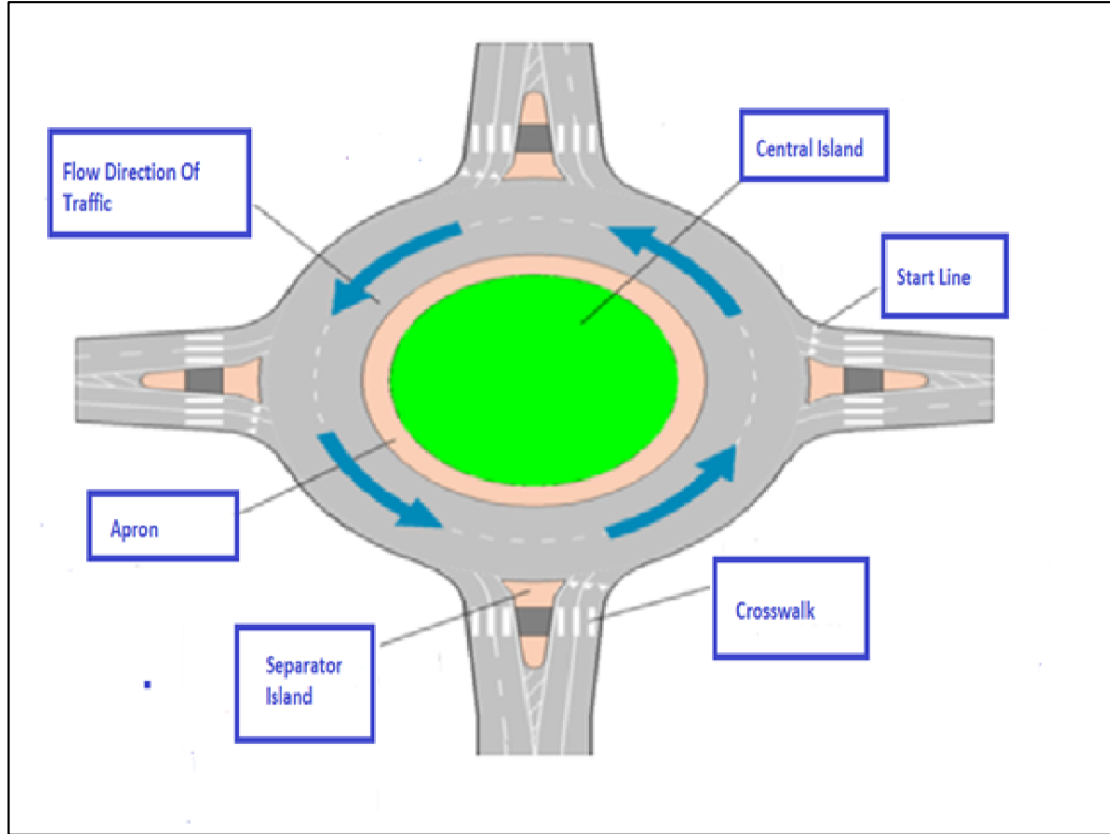


Figure 6. General representation of roundabouts by highways (Url 3, 2022).

Figure 6, gives general information about the general standards of highways and modern intersections, and looks at the classification and relation network and the propositions on how to put traffic lights in the zoning plans (Url 4, 2022);

The width of the road and the diameter of the junction will be included in the work as a proposition at the junction points of the zoning plans, creating a correlation with the zoning island precedent value, the island height coefficient, and its identity as residential or commercial. If an average proposition p and q is constructed,

$$\dot{Z} = p(x) dx \pm q(x) dx \tag{6}$$

$$\left[A_{1n_0} \right] \tag{7}$$

From the unit matrix to the diagonal matrix, $A \Rightarrow (A^T p A)^{-1} (A^T p A)$ factor correlations can be examined by establishing equation.

Above, if V is taken as correction matrix, A coefficients matrix will take whatever factor will affect the relevant zoning plan, and L correction matrix will enter the mean radii of the roundabouts and read the angle distance such as 50-100-150-200 grads in the V correction matrix. the result will give the horizontal distance that will be added to our radii.

From equations 6 and 7, information was obtained about how to design the intersection geometry together with the connecting branches mathematically, about the derivative and integral expansions and their geometries.

In the zoning plan, the zoning islands where the residential, commercial, residential + commercial and social areas will be determined are arranged. This factor is also a factor in the number of branches of the junctions of the main and intermediate road lines, called connection points.

Thus, with this factor affecting the width of the main and intermediate roads, in the light of the width of the roads in meters, in the light of the radius from the point where the roundabouts are placed, how much deviation in meters and traffic lights should be placed.

Apart from the road width, the precedents of the zoning islands, that is, the total construction precedent areas, were determined according to the characteristics of being a residence, etc., in which the characteristics called legends are determined, in how many meters they should be placed by taking the direction from the middle point of the intersection.

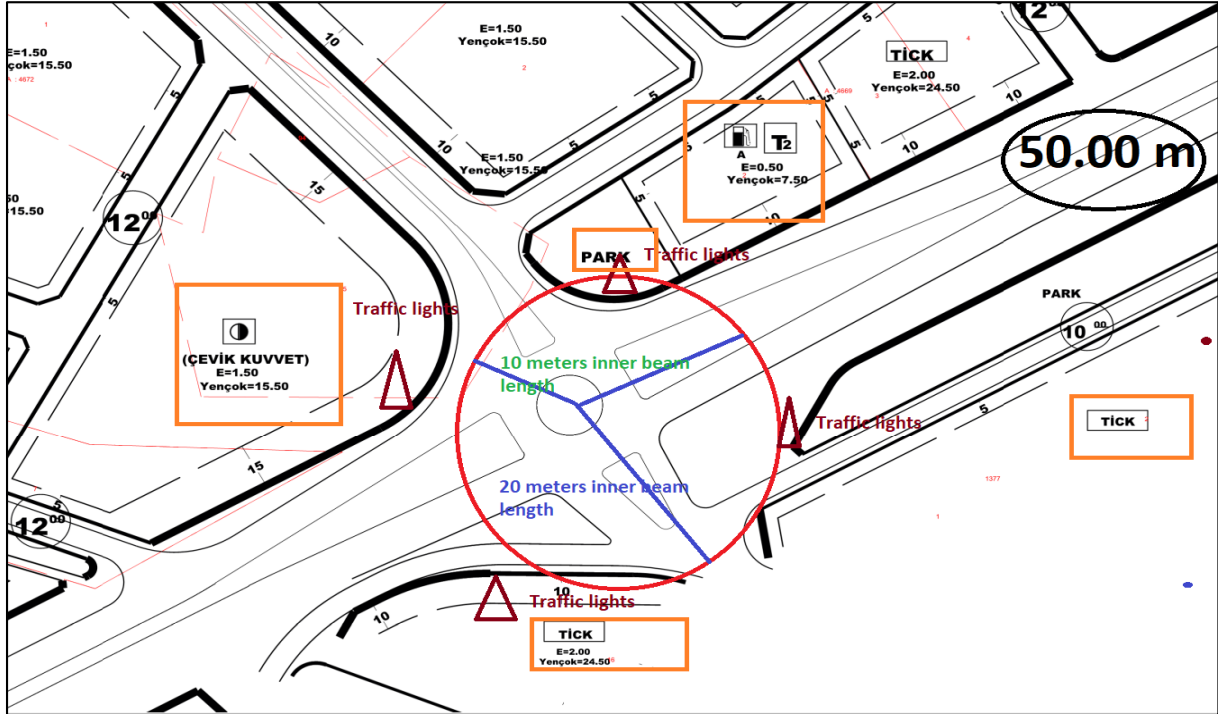


Figure 7. 50-meter main road 4-arm intersection point traffic lights layout display

In Figure 7, in the zoning plans, the zoning islands are specified in legends such as T (Commercial), TICK (Commercial + Housing), only Housing. Legend means the property of the island. The roundabout has been found suitable from the settlement correlation matrix of the roundabout from a radius of 15 meters and a diameter of 30 meters, since there is a petrol station and an official institution area in the north of the intersection, which is given as a 4-arm, and there are tick islands in the south, as well as a 50-meter main road connection point.

Table 1. Junction diameter distances according to road width

Road Width (D) (meters)	Radius/R meters
20	12,5
24	13
24	13
25	15
28	16
30	17,5
35	27,5
40	25
50	30

Table 1 shows how the road width and the diameter distances of roundabouts are entered into the plans. Especially in the zoning plans, if the area is flat as the northern and southern ring roads, a main line is formed by processing. The connection intersections and roads with this line are covered by the

network theory as the island and road, with the width of the 20-meter and 50-meter roads. This process is how the traffic lights should be placed in the direction of the diameter distances by taking the clockwise direction from the middle of the roundabouts. The table is a representation of the ground-axis distances where the traffic lights will be placed, from the road width and the diameter distances of the intersections.

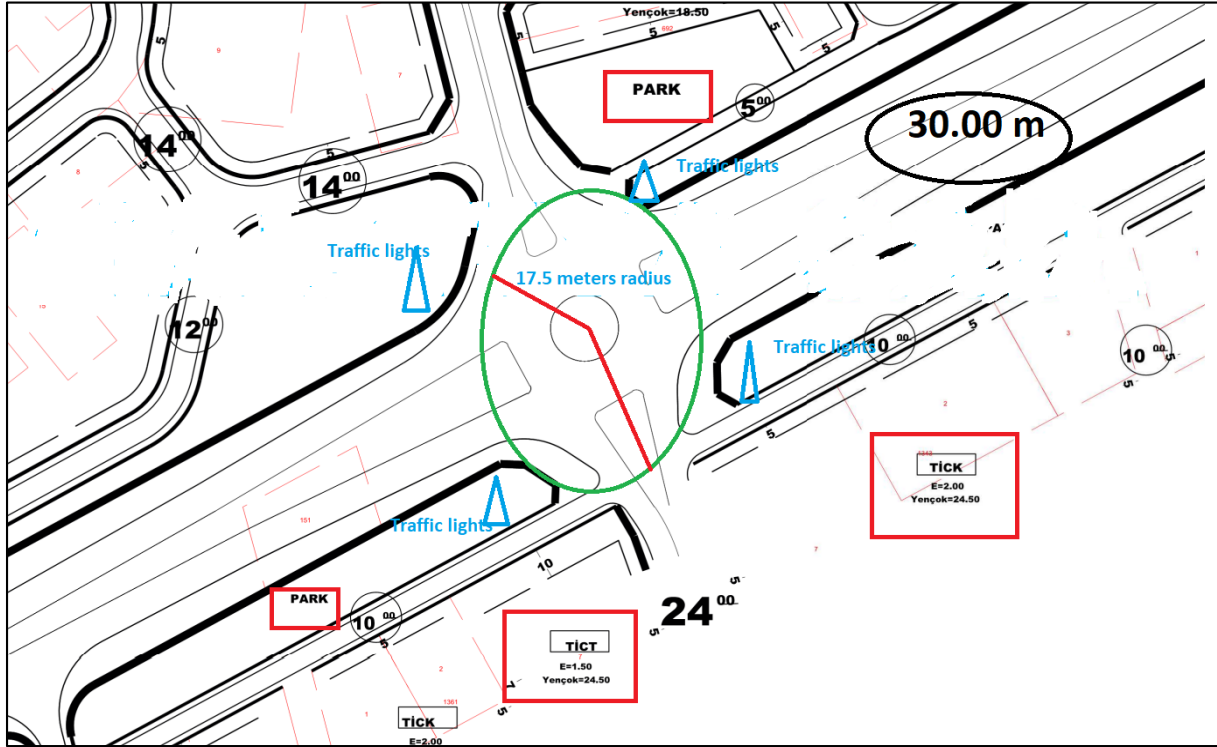


Figure 8. Representation of the 30-meter road line and the surrounding island feature

It is a demonstration of placing traffic lights at the corner points of the 4-arm intersection, approximately 17.5 meters from the 30-meter main line, after emphasizing the road width and diameter above. Except for the 30-meter line relationship, the relationship parameter should be examined according to the residence and other legends.

Table 2. Traffic lights intersection radius relation by island legend

Island legends	Traffic lights intersection correlation (m)
Housing	20
Trade	25
Residential trade	30
School	30
Mosque	30
Hospital	35
Official institutions	25
Liquid fuel	45

In Table 2., when placing traffic lights at three, four or five-armed intersection corner points, the horizontal distances are averaged from the intersection midpoint in elliptical form, taking into account the relevant island legends.

$$\Sigma f(x) dx + \Sigma g(x)jd_x \tag{8}$$

Especially at the points where the fuel areas are located, the placement of the lights will be maximum on the basis of radius, and the minimum distance around the residential development blocks will be at

a minimum distance for the livelihood of the pedestrians. From equation 8, information was obtained about how to design the intersection geometry together with the connecting branches mathematically, about the derivative and integral expansions and their geometries.

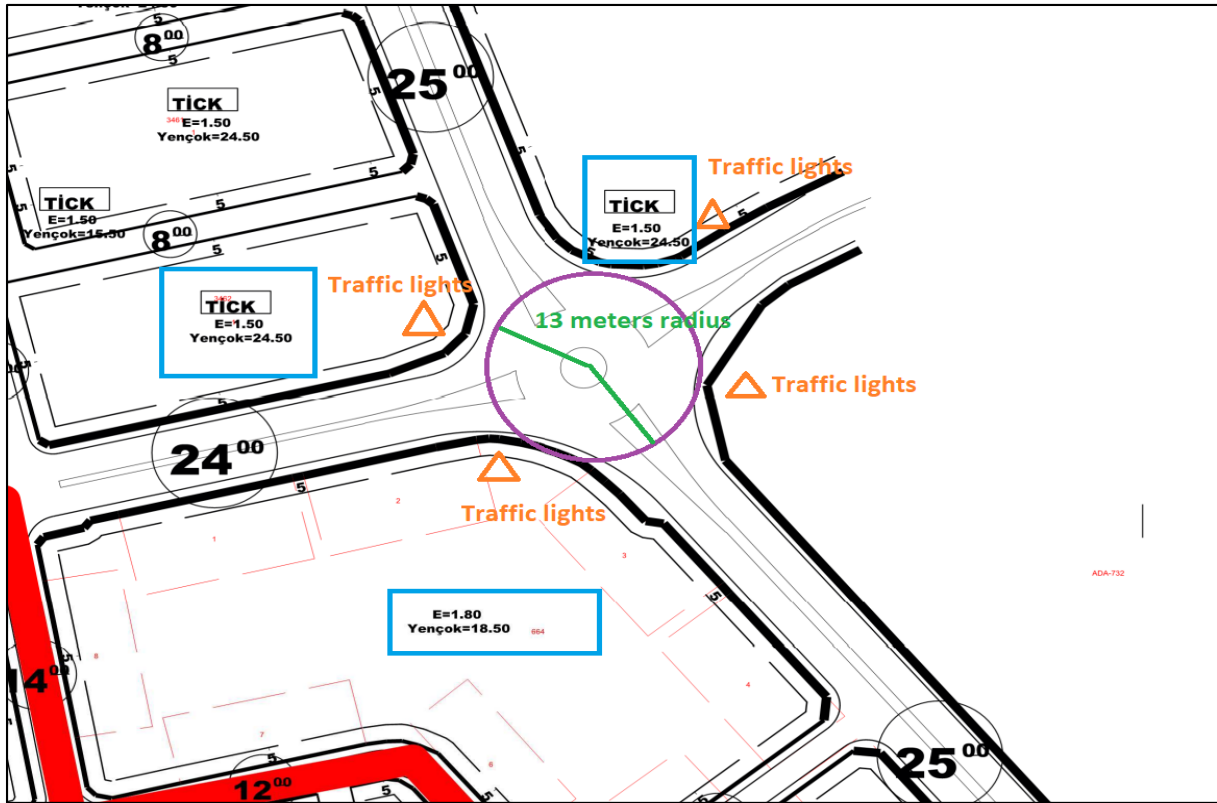


Figure 9. Placement of traffic lights at the junction points of commercial residential islands

In Figure 9., while the radius of the intersection is 13 meters, especially at the intersection of the 24 and 25-meter roads, the lights are placed by paying attention to the corner points for 17 meters, since tick areas exist at the corners. The reason for placing it in this way is that the building at the base, that is, the parcel, is used as a shop in tick areas.

Table 3. Relationship between traffic lights and island peer values

Equivalent Value	Traffic corner light placement distance (m)
0.30	12
0.60	15
0.90	18
1.20	21
1.50	24
1.80	27
2.10	30
2.40	33
2.70	35
3.00	37
3.30	39
3.60	41

In Table 3., it is stated how the horizontal distances to be formed in addition to the connection intersections corresponding to the island fronts with precedent values in the zoning islands will increase. Adding to the average intersection radii will result in an increase in traffic lights depending

on the population ratio. When it is calculated that there will be an average of 4 people per block from 0.30, that is, the islands that will correspond to 2 floors, 3.60, which will correspond to approximately 12 floors, and it is estimated that 48 people will use the route, it will be found how the traffic lights corresponding to the equivalent value will be calculated from the connection points.

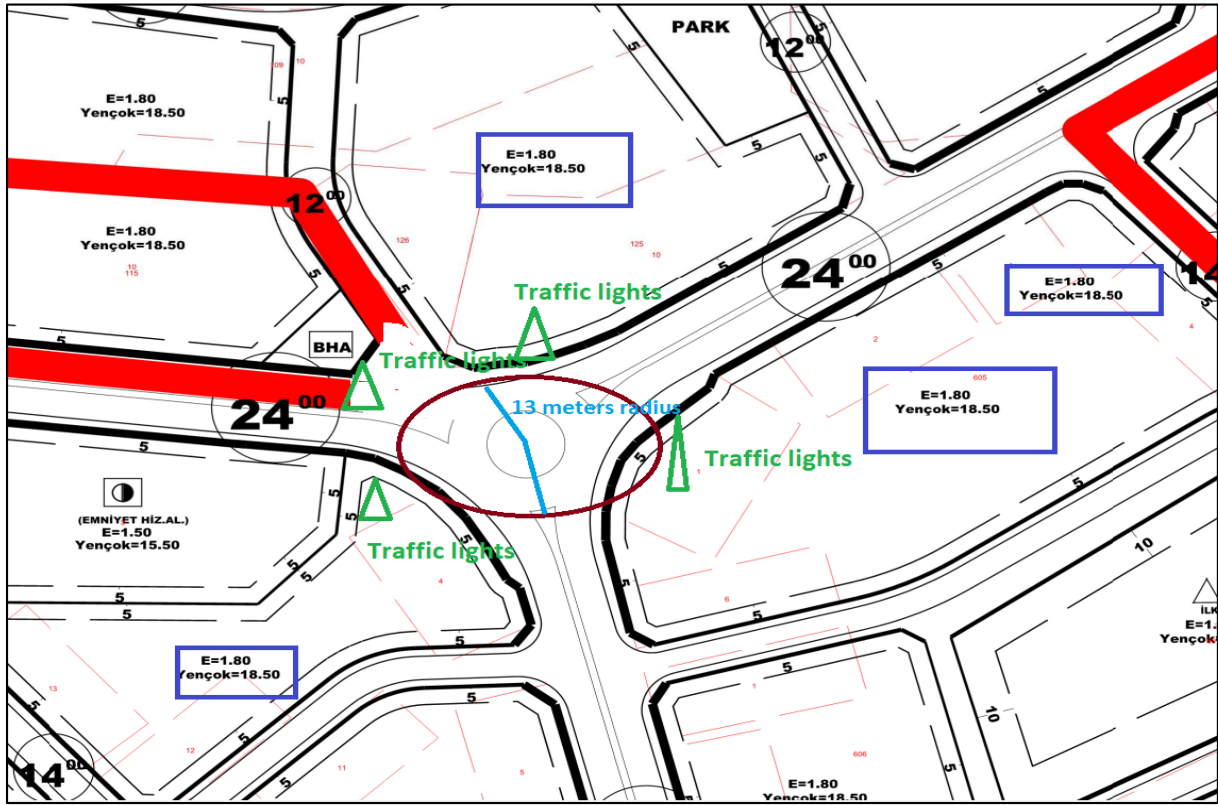


Figure 10. Layout representation of traffic lights according to height coefficients

In Figure 10, since the traffic lights at the junction point where the zoning islands are located, shown with the legend of Yençok, are in such a way that they correspond to the intersection of roads with an average of 24 meters and an average of 6 floors, the radius of the intersection on the width of the main road is 13 meters, and in the case of the plan, with the addition of 14 meters, it is in a circle of approximately 27 meters. lights will be placed.

Table 4. Correlation of Height Coefficients and Traffic Lights

Height Quantity (m)	Light Settlement distance (m)
6.50	15
9.50	18
12.50	21
15.50	24
18.50	27
21.50	30
24.50	33
27.50	35
30.50	37
33.50	39
36.50	41
39.50	43

In Table 4, a proposal will be made on adding traffic lights to the corners of an area by adding the average number of people to live according to the height of 13 meters above the radius intersection at the junction points of 18.50 meters, whose height is given over an average of 6 floors.

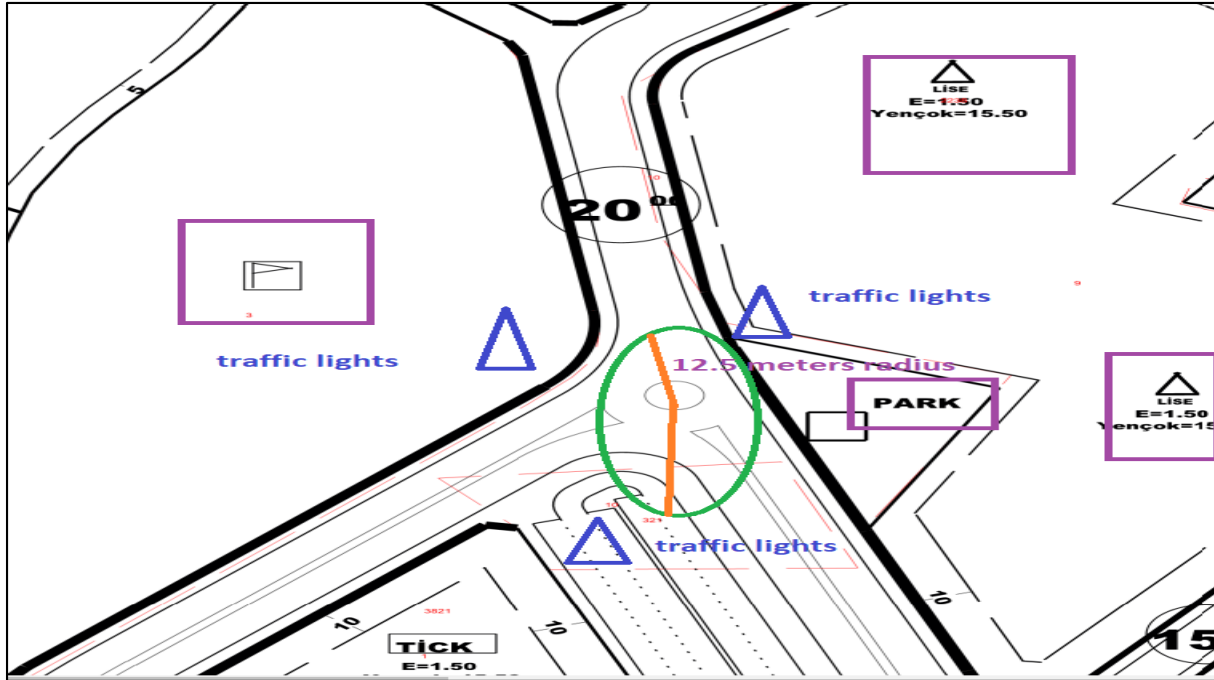


Figure 11. Distance display of the lights to be placed at the connection points of official institutions and school areas

In Figure 11., traffic lights of corner points will be placed by adding an average of 10 meters to the intersection radius formed by the average road width at the junction points of areas such as schools, official institutions and sports facilities around the 20-meter road intersection.

Table 5. Distance Correlation of Traffic Lights on Official Institution, Sports Facility, Park Legendary Islands

Other Island Legends	Traffic Light Distance (m)
Official institutions	10
Sports Facility	10
School	10
Park and Marketplace Area	10

In Table 5., traffic lights should be added to the corners of connection points by adding 10 meters in addition to the radius of the intersection point of the road width in these type of zoning islands where there is only certain hours of the day and night, except for residences and commerce.

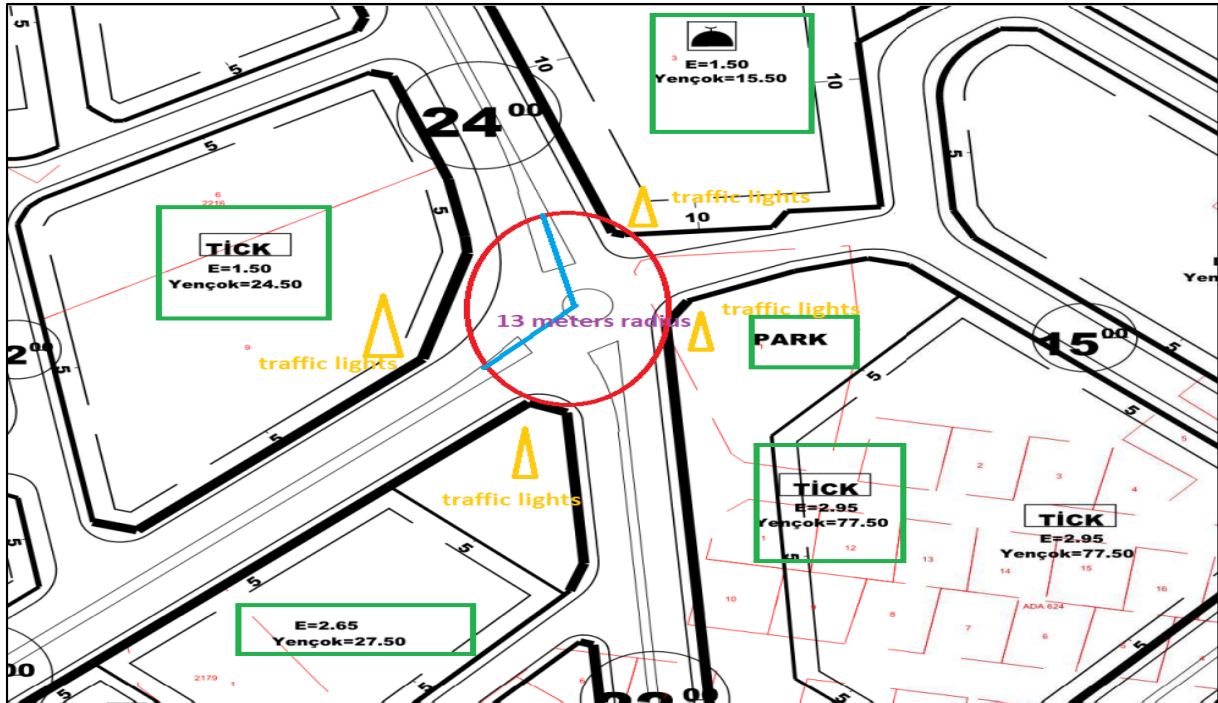


Figure 12. Layout of traffic lights at intersections with tick and equivalent values

In Figure 12, traffic lights are found by adding the intersection radius according to the total arithmetic average of the height and peer values in commercial residential areas, with a 24-meter 4-arm intersection point corresponding to a radius of approximately 13 meters. From equation 9, information was obtained about how to design the intersection geometry together with the connecting branches mathematically, about the derivative and integral expansions and their geometries.

$$\frac{a_1+a_2+\dots+a_n}{n} = \Sigma a_n$$

(9) is found from.

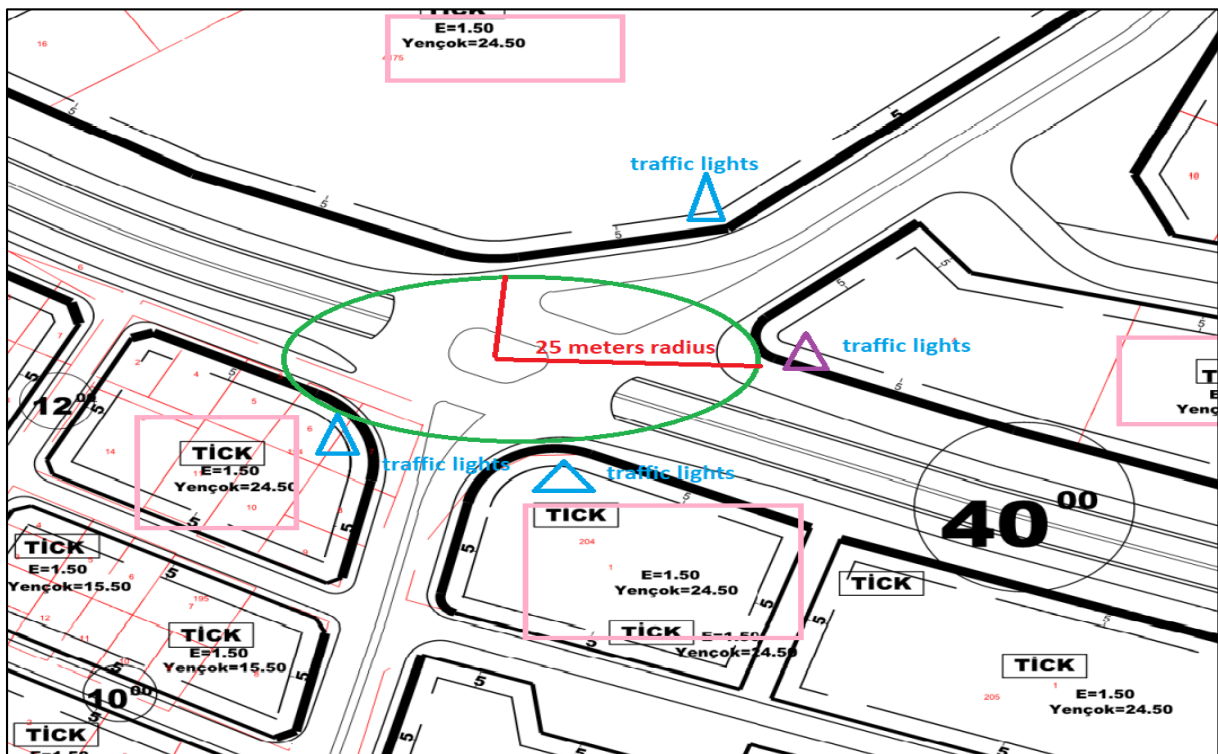


Figure 13. Demonstration of 40 meter port in hybrid form

In Figure 13, the distances of the traffic lights will be calculated by adding all the arithmetic plan island parameters to the radius of approximately 25 meters of the roundabout point, which consists of a 40-meter road width.

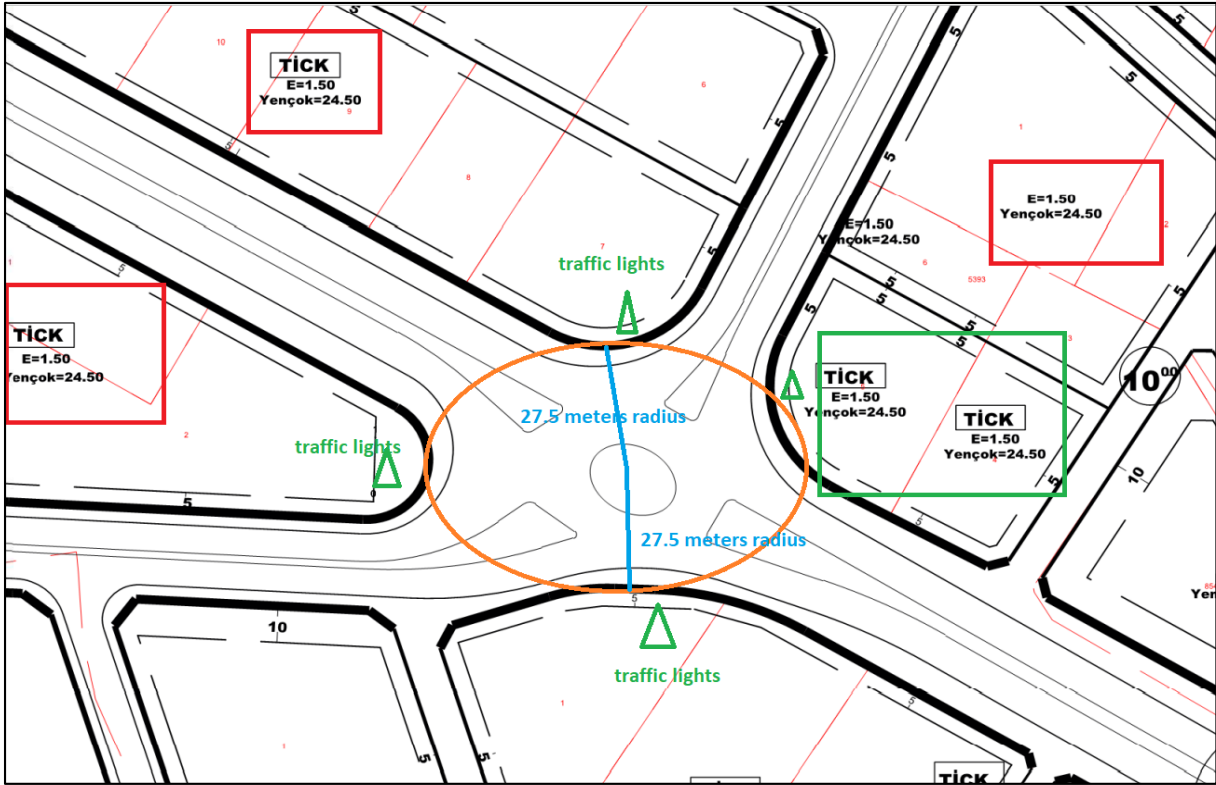


Figure 14. Tick zoning island intersection traffic lights layout display

As can be seen in Figure 14, the radius is determined on the basis of an average of 40 to 50 meters in the elastic, that is, undetermined binomial area where the road width is opened and narrowed. will be placed.

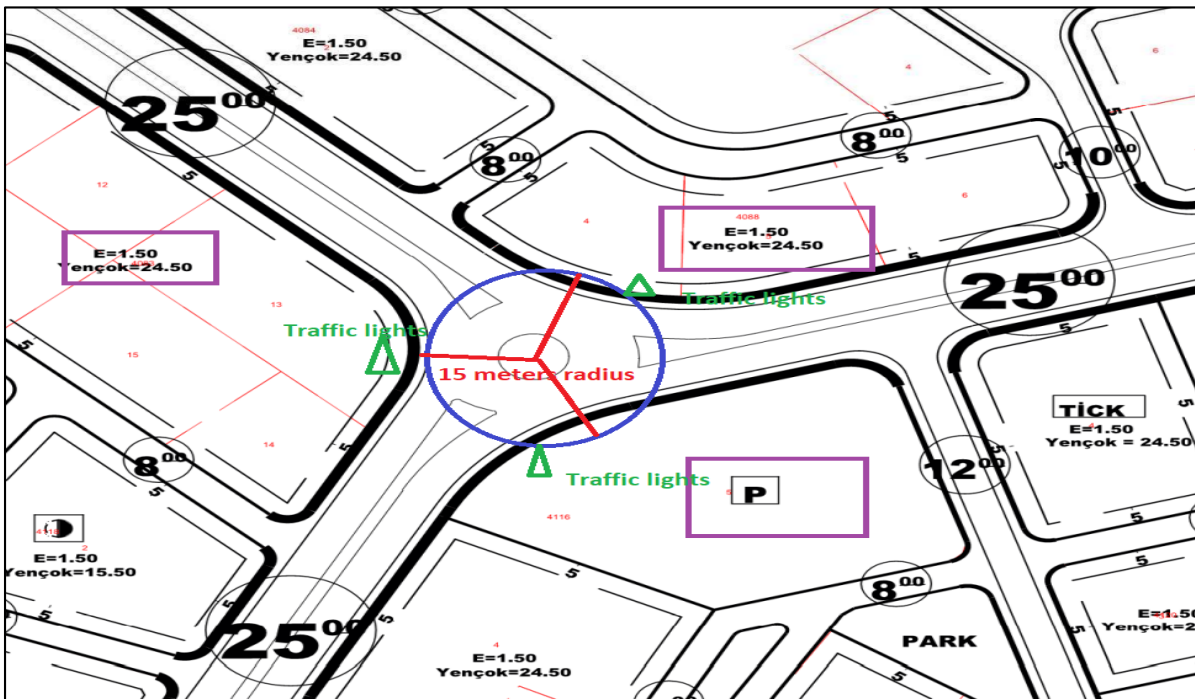


Figure 15. Traffic light placement at a mixed 3-leg intersection

In Figure 15, it is determined by adding at least 10 meters to the points where traffic lights will be placed on the turning circle, which will be located in the circle area of 15 meters radius, to the road width at the intersection with the park, precedent and height value, as a result of the arithmetic average of the towing distances, which will correspond to the precedent and height values, like a compass.

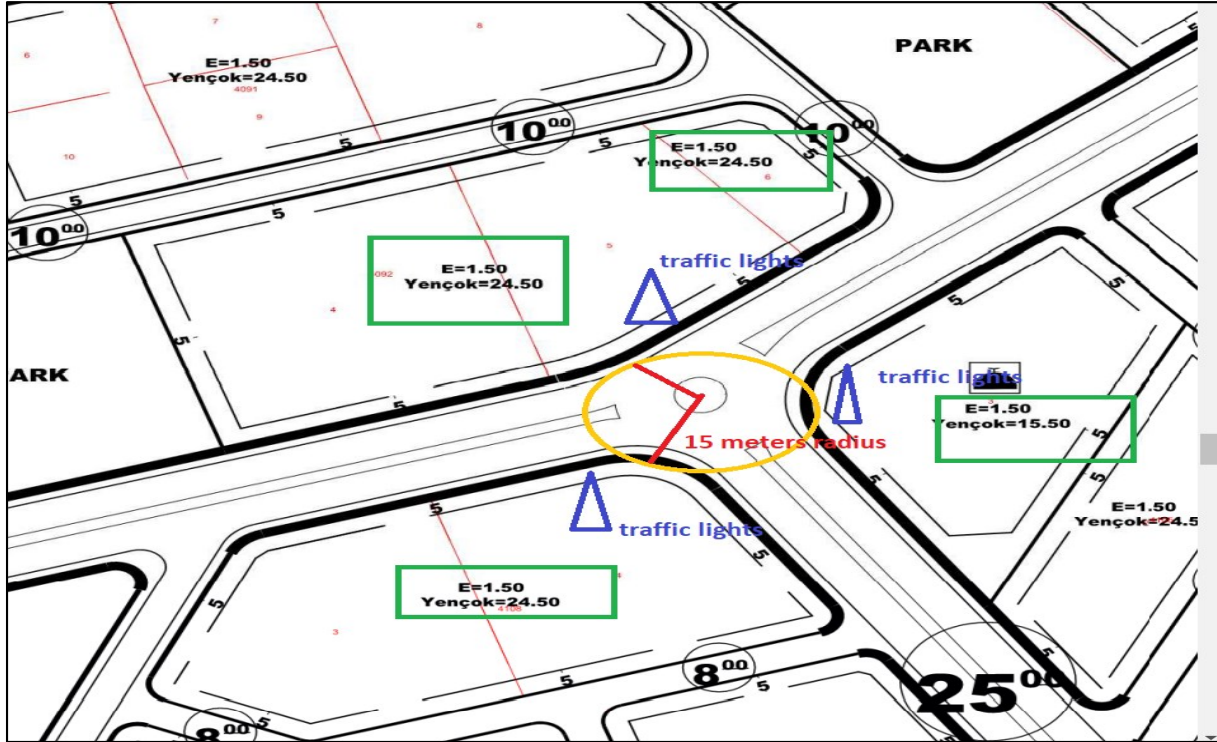


Figure 16. Light placement at the intersection according to the peer value

In Figure 16., since the precedent and height values of the zoning islands are determined only at the 3-arm connection point, the light settlement point can be determined by adding two arithmetic factors to the intersection radius.

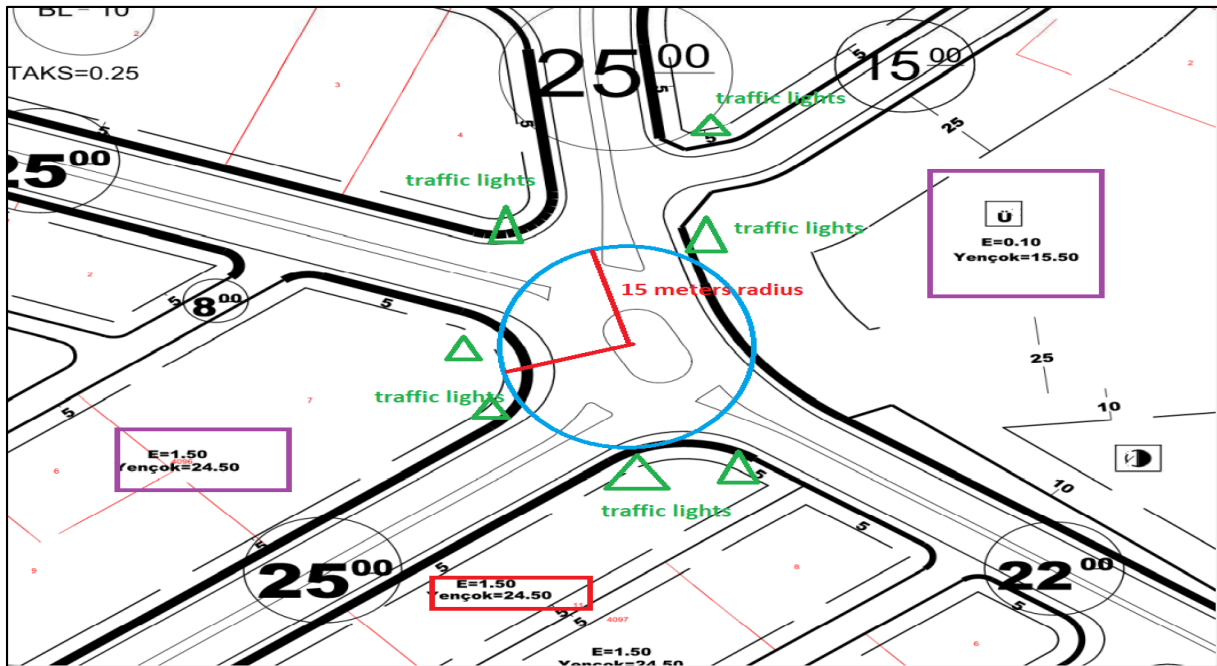


Figure 17. Light placement demonstration at the junction point in the hybrid structure

In Figure 17, traffic lights will be placed at the mixed connection plan points by taking the average of the values given in the tables in addition to the intersection radius, which is formed based on the road width at the intersection points of the official institution, that is, the university area and the zoning islands with normal precedent and height values.

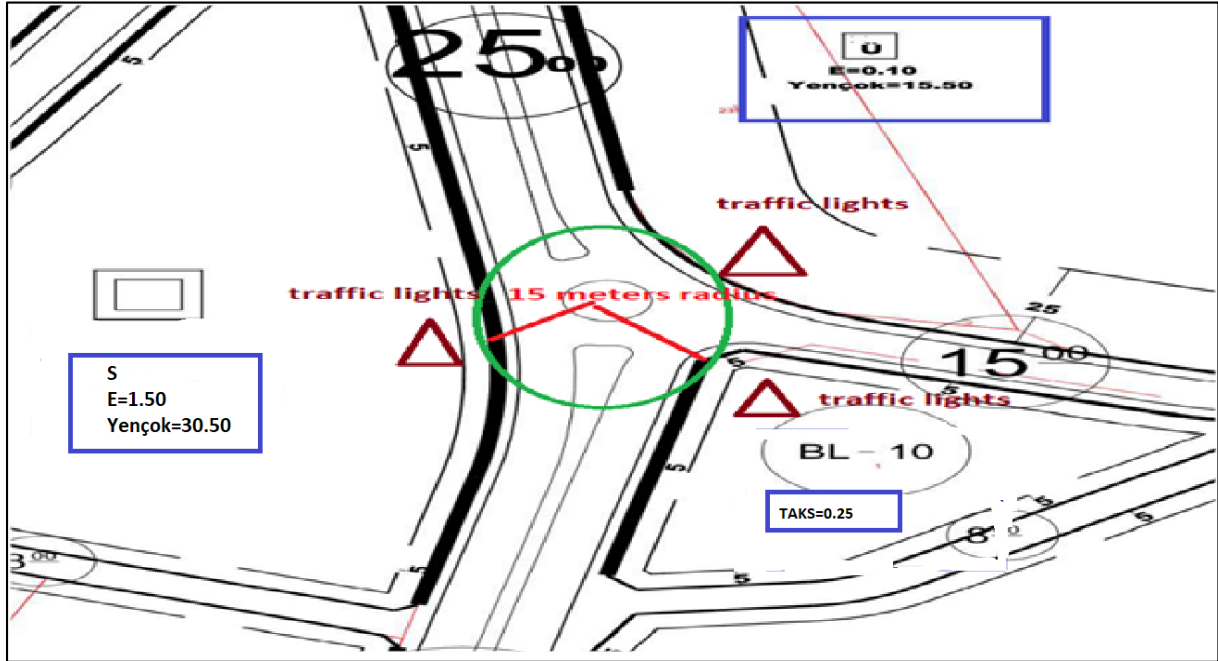


Figure 18. Mixed 3-arm port

In Figure 18, additions are made to the radius intersection distance, which is formed according to the 25-meter road width, according to the precedent, the building order and the average arithmetic value to be added in official institutions.

Table 6. Correlation by building order

Building order	Horizontal distance (m)
Separate	6
Block	6
Adjacent	4

In Table 6, it is found by adding to the intersection radius according to the discrete, block or adjacent building regulations as a parameter at the junction points where the building order shapes are known in the zoning blocks.

5. Conclusion and Recommendation

While creating a network of highways such as traffic lights and signs, the most important goal is to ensure the safety of the driver and pedestrians. Related institutions and organizations are clear. Generally, it may not be sufficient to consider only the road geometry when passing these signs and signs or lights. Especially when local governments make a zoning plan, a road network should be established in cooperation with the roads or highways under their control. Regardless of how many branches the connections of the main and intermediate roads are, the traffic lights must be passed according to the targeted 30-40 year minimum human population of the zoning islands while determining the topography cuts or fillings. In the study, it has been tried to explain with examples, which complex structure will be added to the intersection radius and which criteria should be paid attention to. According to the legends of the zoning islands, our suggestion is to ensure that the right

lights are placed at the points where human hours are intense or permanent, with planning that will take into account the traffic density in terms of security.

As the height values increase to 3 meters, the intersections increase proportionally from 12 meters to 12, 15, 18, 21, and 24, according to their width, and increase from 0.30 to 12, 15, 18, 20, 25, and 30 meters according to the equivalent values. While it is generally determined as 10 to 30 meters on municipal service roads according to population rates and island legends, this rate increases to around 15 to 200 meters at points connected to highways.

Traffic lights, based on the midpoint of the intersection,

- Due to the width of the road, it is necessary to place traffic lights on the 20-50 meter scale of the road, in addition to the radius of the intersection, around the circle as a radius of 12.5 meters and 30 meters from roundabouts,
- Placement of the zoning islands of the road around areas such as residences, commerce, official institutions, schools, mosques, hospitals, and fuel oil, by adding them in the range of 20-40 meters in addition to the radius distance,
- At the roundabout where the road passes, zoning blocks should be placed between 12 and 41 meters in the radius of the roundabout, starting with 0.30 precedent and corresponding to the number of construction floors that will emerge, corresponding to each 0.30 precedent increase,
- Between 15-43 meters in addition to the traffic light radius, which will correspond to the rate to be found only in H max in the zoning islands around the route where the road passes,
- Adding 10 meters to the fixed radius if there is only a school and official institution area at the roundabout where the road is located,
- At the junction where the road is located, the zoning island with different features, which allows a mixed structure, is added to the settled point with a radius of 25 meters,
- On the connection line, where the width of the road is 40-50 meters, by adding 27.5 meters around the commercial residential islands called TİCK,
- Adding a minimum of 15-25 meters to the radius of the intersection, depending on the intersection arms of the intersection, which is the intersection point of the road,
- By adding 4-6 meters to the fixed radius of 7.5-15 meters according to the separated, block, and adjacent situations of the zoning islands around the road,

The average values have emerged by finding from the mathematical diagonal matrices that the factors in the routes of the zoning plans are effective in the minimum conditions of placing the lights in the fixed regulation. In this way, the process of the correct application of zoning plans in safer, long-lasting road constructions for drivers and pedestrians has been revealed.

Statement of Support and Acknowledgment

There is no institution or organization to thank.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest with any person or institution within the scope of the study.

References

- Aksoy, P.** (2019). *Investigation of the Relationships between Drivers' Disobedience to the Rules at Illuminated Intersections, and Traffic Signs and Intersection Geometry*, ITU, Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Transportation Engineering Program, Master's Thesis, Istanbul.
- Alemdar, K.D.** (2019). *Evaluation of Intersection Designs by Decision Making Techniques*, Atatürk University Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Department of Transportation, Master's Thesis, Erzurum.
- Anbari, M.** (2020). *The Effect of Urban Design on Traffic Safety*, Gazi University Institute of Science and Technology, Department of Environmental and Technical Research on Accidents, PhD Thesis, Ankara.

- Basa, H.** (2016). What is a Junction? traffic.net.tr, <https://trafik.net.tr/kavsak-nedir/> (28.06.2019).
- Boz, C.** (2019). *Simulation of Traffic Flow at Road Network Junctions and Investigation of the Effects of Change in Configuration*, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Surveying Engineering, Remote Sensing and GIS program, Master Thesis, Istanbul.
- Cakici, Z.** (2014). *Investigation of Design Principles of Signalized Roundabout Interchanges*, Pamukkale University Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Master's Thesis, Denizli.
- European Commission, Annual Accident Report,** (2018). https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf, Accessed 10 October 2020.
- FHWA.** (2004). *Signalized Intersections: Informational Guide*.
- Guncu, V.** (2019). *Investigation of Existing Roundabouts on Highways in Turkey in terms of Traffic Safety by Taking Geometric Designs into Consideration*, Gazi University Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Master Thesis, Ankara.
- Janssens, R.** (1994). *Evaluating the Performance of a Roundabout*, CEEC's Training Seminar on Road Development and Safety for Managerial Staff from Central and Eastern European Countries, Brussels-Belgium.
- Kaufmann, A. and Gupta, MM.** (1991). *Introduction to Fuzzy Arithmetic Theory and Applications, Van Nostrand-Reinhold*.
- Kaya, I.** (2020). *Building and Zoning Sanctions in the Zoning Law in the Light of the Council of State Decisions*, Kırıkkale University, Institute of Social Sciences, Department of Public Law, Master's Thesis, Kırıkkale.
- Kayacan, C.** (2022). *Determination of Geometric Delay at Roundabouts in Izmir*, Dokuz Eylül University Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Transport Program, Master Thesis, Izmir.
- KGM, Highway Traffic Safety Handbook,** (2007). Traffic Branch Directorate, Ankara.
- Kısa, M.** (2022)). *Application of Fractional Derivatives and Integrals to Some Inequalities*, Fırat University, Institute of Science and Technology, Department of Mathematics, Master's Thesis, Elazığ.
- Kızolli, Beni.** (2017). *New Approaches/UTY Strategies for Urban Traffic Problems and Solutions: Example of Pristina*, Gazi University Institute of Science and Technology, Department of Environmental and Technical Research on Accidents, Doctoral Thesis, Ankara.
- Mohammed Ali, M.E.** (2021). *Coordinated Adaptive Traffic Signaling Control for Smart Cities*, Selçuk University, Institute of Science and Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering, PhD Thesis, Konya.
- Molodtsov, D.** (1999). *Soft set theory-first results*, *Computer and Mathematics with Applications*, 37, 19-31 pp.
- Oluwole, A., Abdul Rani, M., & Mohd Rohani, J.** (2013). *Integrating road safety indicators into performance road safety index*. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(9), 693-698.
- Orbay, K.** (2014). *On Fuzzy Soft Sets*, Ege University Institute of Science and Technology, Department of Mathematics, M.Sc., İzmir.

Öğütveren, E. (2019). *Geometric Design of Modern Roundabouts and Capacity Relationship*, Pamukkale University Institute of Science and Technology, Department of Civil Engineering, Master's Thesis, Denizli.

Rasheed, F., Yau, K.-L. A., Noor, R. M., Wu, C., and Low, Y.-C. (2020). *Deep Reinforcement Learning for Traffic Signal Control: A Review*, IEEE Access.

Sarı, F.A. (2021). *The Use of Traffic Simulation Techniques at Junctions and Comparative Analysis of Simulation Programs*, Sakarya University Institute of Science and Technology, Civil Engineering, Department of Transportation, Master's Thesis, Sakarya.

Tanyel, S. (2001). *Capacity calculation method for roundabouts in Turkey*. Phd Thesis. I.T.U. Faculty of Engineering and Architecture, İstanbul.

Tunç, A. (2003). *Traffic engineering and applications*, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Sti., Ankara, 655-783.

Umar, F. and Yayla, N. (1992). *Road Construction*, İstanbul: İ.T.Ü Civil Engineering Faculty Printing House.

Yayla, N. (2015). *Highway Engineering*. Birsen Publishing House, İstanbul, Turkey.

Yılmaz, E. (2006). *Highway Traffic Simulation*, Master Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon.

Yılmaz, Y.E. (2021). *A Composite Safety Index Development Study on Highway Traffic*, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Civil Engineering Department, Master Thesis, İstanbul.

Url 1:

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/IsaretlerElKitabi/KarayoluTrafikIsaretlemeStandartlari1.pdf>

Url 2:

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/IsaretlerElKitabi/KarayoluTrafikIsaretlemeStandartlari2.pdf>

Url 3:

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/moderndonelkavsak.pdf>

Url 4:

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/UzmanRaporlari/KITGIUzmanRaporlari.pdf>

Araştırma Makalesi

Dispeç kaynaklı aksaklıkların diğer operasyon birimlerine etkisi

Ahmet Selim Süzer*

İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, İstanbul Topkapı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: ahmetselemsuzer@topkapi.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1239693

Özet: Bu çalışmanın amacı havayolu operasyon kararlarında entegrasyonu sağlayabilmek için havayolu OCC (Operation Control Center) bünyesinde yer alan süreçlerden dispeç kaynaklı problemleri belirleyerek bu problemlerin diğer havayolu süreçlerine etkilerini tespit edebilmektir. Böylece, havayolu operasyon yönetiminde entegre bir yaklaşıma katkı sağlanacağı vurgulanabilmektedir. Bu çalışmada operasyonları OCC (Operation Control Center-Operasyon Kontrol Merkezi) tarafından yönetilen orta ve büyük ölçekli havayollarının operasyon yönetimi evren olarak ele alınmıştır. ICAO (International Civil Aviation Organization), IATA (International Air Transportation Association), EASA (European Aviation Safety Agency) gibi kuruluşların getirdiği uluslararası kurallara uyarak operasyonlarını icra eden orta ve büyük ölçekli havayolları genellikle aynı problemlerle karşılaşmaktadırlar. Sadece sefer geciktirme, sefer birleştirme, sefer iptali gibi kararların havayollarının stratejilerine göre belirlendiği söylenebilmektedir. Çalışma, Türkiye’de operasyonları OCC tarafından yönetilen havayollarının OCC bölümünde görev yapan 40 operasyon süreç çalışanı (havayolu operasyonları, dispeç, ekip Planlama, yer hizmetleri, Teknik ve bakım takip gibi süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreç çalışanları ile görüşülmüştür) ile yüz yüze görüşülerek veya telefon görüşmesi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Dispeç kaynaklı aksaklığa dönüşebilecek problemlerin belirlendiği ifade edilebilir. Ayrıca bu problemlerin diğer havayolu süreçlerinde ortaya çıkarılabileceği problemlerin de genel olarak belirlendiği belirtilebilmektedir. Son yıllarda havayolu operasyon yönetiminde düzensiz uçuşlar konusu geniş çalışma alanı bulmuştur. Havayolu operasyon yönetiminde disptach kaynaklı problemlerin düzensiz uçuşların yönetilmesinde önemli bir yer tuttuğu ifade edilebilir. Bu çalışmanın disptach kaynaklı problemlerin belirlenmesi açısından literatüre katkı sağladığı değerlendirilebilir. Ayrıca yine son yıllarda düzensiz uçuşların çözümünde entegre bir yaklaşım çalışma alanı bulmuştur. Bu çalışmanın havayolu operasyon yönetiminde entegre bir anlayışla karar alınmasına katkı sağlamak amacıyla dispeç kaynaklı problemlerin diğer havayolu operasyon süreçlerine etkilerini ortaya koyması nedeniyle önem arz ettiği vurgulanabilir.

Anahtar Kelimeler: Havayolu operasyon merkezi, entegrasyon, algoritma, dispeç, aksaklıklar

Effects of Dispatch-related Disruptions on Other Operation Processes

Abstract: The aim of this study is to examine the interaction of airline operation processes with each other by determining the effects of dispatch-related problems from the processes within the airline OCC to other processes to ensure integration in airline operation decisions. In this study, medium and large-sized airlines whose operations are managed by OCC are considered as the universe. Medium and large-sized airlines that carry out their operations in compliance with the international rules and procedures formed by organizations such as ICAO (International Civil Aviation Organization), IATA (International Air Transportation Association), EASA (European Aviation Safety Agency) generally encounter the same problems. It can only be said that the decisions such as flight delay, flight combination, flight cancellation are determined according to the strategies of the airlines. As a result

* Corresponding author.

E-mail address: ahmetselemsuzer@topkapi.edu.tr

ORCID: 0000-0002-1846-4503

Received 20.01.2023; accepted 09.03.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.



BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ



of the study, it can be stated that the problems that can turn into disruptions caused by Dispatch are determined. In addition, it can be stated that the problems that these problems may cause in other airway processes are also revealed in general. In recent years, irregular flights have found a field of study in airline operations management. It can be stated that problems caused by dispatch have an important place in the irregular flight management in airline operations. It can be stated that this study contributes to the literature in terms of identifying dispatch-related problems. In addition, in recent years, integration has found a studying area in the solution of irregular flights. It can be emphasized that this study is important because it reveals the effects of dispatch-related problems on other airline operation processes to contribute to an integrated approach in airline operation management.

Keywords: Airline operations center, integration, algorithm, dispatch, disruption

* Corresponding author.

E-mail address: ahmetselemsuzer@topkapi.edu.tr

ORCID: 0000-0002-1846-4503

Received 20.01.2023; accepted 09.03.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Havayolu sektöründe operasyon bir ürün veya hizmet üretmek için yerine getirilen faaliyetler olarak ifade edilebilmektedir. Operasyon yönetimi ise bu faaliyetler dizinini en etkin biçimde yöneterek ürün veya hizmeti ortaya çıkarmak olarak ifade edilebilmektedir (URL 1). Havayolları genel olarak yolcunun veya kargonun bir noktadan bir noktaya ulaştırılması hizmetini sunmaktadır. Bu hizmetin yerine getirilmesi için teknik, yer hizmetleri, ekip planlama, kargo gibi birçok operasyon biriminin görevlerini eksiksiz yerine getirmesi gerekmektedir. Bu görevler farklı alanlarda icra edilmektedir ve birisinde çıkacak problem diğer operasyon birimlerini de etkilemektedir. Örneğin, havacılık sektöründe uçuş öncesinde ve sonrasında uçuş ekibi ile ilgili bir problem seferin gecikmesine neden olarak transit yolcunun bağlantı uçuşunu kaçırmasına neden olabilmektedir.

OCC havayollarında operasyonu yöneten birimdir ve bünyesindeki operasyon süreç çalışanları ve yöneticileri ile operasyon yönetiminde en optimum kararların verilmesini sağlamaktadır (Castro ve Oliveira, 2011:68). Havayolu operasyon yönetiminde OCC birimi teknik, ekip planlama, yer hizmetleri gibi süreçleri etkin şekilde yönetmeyi hedefleyerek problemlerin uçuşları etkilemesini önlemeyi amaçlamaktadır. Havayolu operasyon süreçlerinde çıkan bir problemin diğer süreçleri de etkileyebilme ihtimali nedeniyle havayolu operasyon yönetiminde kararların entegre bir şekilde alınması gerekmektedir. OCC organizasyonunun genel olarak aşağıdaki operasyon süreçlerinden oluştuğu bildirilebilmektedir (Castro ve Oliveira, 2011:68-69):

Dispeç Süreci; bu birim yapılacak uçuş öncesi yakıt, rota, seviye ve hız gibi bilgileri içeren uçuş planı dokümanını hazırlamaktadır. Bu plan bazı araçlar kullanılarak kaptanlara ve hava trafik birimlerine gönderilmektedir (ICAO Annex 6, 2018).

Ekip planlama; uçuş ekiplerinin ulusal ve uluslararası kurallara göre seferlere atanması süreci olarak bildirilebilmektedir.

Bakım ve arıza takip; uçaklarda oluşan arızaların giderilmesi ve periyodik bakımların yapılması süreci olarak belirtilebilmektedir.

Yer hizmetleri; yerde yolcuya ve uçağa sağlanması gereken hizmetlerin yerine getirilmesi süreci olarak tanımlanabilmektedir.

Yolcu Hizmetleri; yolcunun aldığı biletin içerdiği hizmeti uçak değişimi, aksaklık gibi durumlarda alacak şekilde aksiyonlar alınması takip ettiği ifade edilebilmektedir.

Uçak atama; uçakların uygun seferlere atanması süreci olarak aktarılabilmektedir.

Uçuş Süreci; uçağın park yerinden ayrılması ile başlayan ve varış havaalanında park etmesi ile sona eren süreç olarak belirtilebilmektedir (URL 2). Hem kokpit ekibinin hem de kabin ekibinin yürüttüğü süreç olarak bildirilebilmektedir.

OCC operasyonu yönetirken problemlerin çözümü için havayolunun uçak ve ekip kaynağını kullanarak, ilave sefer planlamak gibi yeni kararlar alabilmektedir. İşletmede kararlar stratejik, taktik ve operasyonel olabilmektedir. Stratejik karar havayolu işletmesinin uzun dönem hedeflerinin belirlendiği, misyon ve vizyonunun uzun dönem hedeflere dönüştürüldüğü planlama ile ilgili kararlardır. Taktik kararlar, havayolunun kaynak dağıtımının yapıldığı genellikle yıllık, bazen bir tarife dönemini için yapılan planlamalar için alınan kararlar olarak bilinmektedir. Havayollarında OCC organizasyonu stratejik ve taktik kararlar doğrultusunda operasyonel kararlar olarak havayolu operasyon yönetimini yerine getirmektedir (Köksalmış, 2019:2).

Operasyon yönetiminde amaç operasyonun havayolunun uçuş programı doğrultusunda yürütülmesini sağlamaktır. Meteoroloji, teknik arıza, ekip görev süreleri gibi birçok sebepten dolayı havayollarında seferler planlandığı gibi yürütülemez. "Bureau of Transportation Statistics" verilerine göre Amerika'da 2019 yılında yaklaşık olarak uçuşların %21'i 15 dakika ve üstünde gecikmeli icra edilmiştir (Su vd., 2021:436). 2019'da zamanında kalkış istatistikleri sadece üç havayolunun uçuşlarını %90 veya üzerinde zamanında gerçekleştirildiğini göstermektedir. Havayolları bu verilere göre uçuşlarının bir kısmını programladıkları gibi icra edememektedir ve bunlara düzensiz uçuşlar denmektedir. Bu uçuşların bazıları da aksamaktadır (Su vd., 2021:436-437). Aksaklık bir havayolunun

uçuşunun seferinin iptal edilmesi veya seferin kalkış saatinden önceki 48 saatlik periyod içinde 2 saat ve üstünde geciktirilmesi olarak tanımlanabilmektedir (Serrano ve Kazda, 2017:4).

Bu çalışmada operasyonları OCC tarafından yönetilen orta ve büyük ölçekli havayollarının operasyon yönetimi evren olarak ele alınmıştır. ICAO, IATA, EASA gibi kuruluşların getirdiği uluslararası kurallara uyarak operasyonlarını icra eden orta ve büyük ölçekli havayolları genellikle aynı problemlerle karşılaşmaktadırlar. Sadece sefer geciktirme, sefer birleştirme, sefer iptali gibi problemlerin çözümünde kararların havayollarının stratejilerine göre belirlendiği söylenebilmektedir. Çalışma, Türkiye’de operasyonları OCC tarafından yönetilen havayollarının OCC bölümünde görev yapan 40 operasyon süreç çalışanı (havayolu operasyonları, dispeç, ekip Planlama, yer hizmetleri, Teknik ve bakım takip gibi süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreç çalışanları ile görüşülmüştür) ile yüz yüze görüşülerek veya telefon görüşmesi yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda Dispeç kaynaklı aksaklığa dönüşebilecek problemlerin belirlendiği ifade edilebilir. Ayrıca bu problemlerin diğer havayolu süreçlerinde ortaya çıkarabileceği aksaklıkların da genel olarak ortaya çıkarıldığı belirtilebilir. Böylece, havayolu operasyon yönetiminde entegre bir anlayışla karar alınmasına katkı sağlanmış olduğu vurgulanabilmektedir.

2. Literatür Taraması

2.1. Havayollarında Dispeç Operasyon Süreci

Dispeç operasyon süreci havayollarında uçuş sürecinin planlaması, takibi veya gerektiğinde yenilenmesi işlemlerinin yapıldığı süreç olarak bilinir (Gezgiç, 2016:12). Dispeçer yada uçuş hareket kontrol uzmanı ise “Emniyetli bir uçuş hareketinin sağlanabilmesi için uçuşun planlanması ile ilgili dokümanları sağlayan ve hazırlayan, uçuş süresince uçuşu takip ve kontrol eden, uçuş ekibine uçuşun her aşamasında gerekli bilgilendirmeleri yapan, değişen şartlara göre uçuş operasyon planlaması ile ilgili gerekli tedbirleri alan, uçuş ile ilgili acil durumlarda ilgili birimlere gerekli bilgileri ileten, ilgili ulusal havacılık otoritesi (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM] gibi) tarafından lisanslandırılmış havayolu çalışanlarıdır (URL 1). Lisanslandırılan dispeçerlerin uçuş Planlama sürecini yürütebilmesi için bazı yetkinliklere sahip olması gerekmektedir. Bu yetkinlikler genel olarak aşağıdaki hususları içermektedir (ICAO Doc. 7192-AN/857).

2.1.1. Meteoroloji

Meteoroloji, yaşadığımız dünyada meydana gelen hava olaylarını inceleyen ve insan hayatına etkisini bildiren bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Meteorolojinin birçok kolu mevcuttur; havacılık meteorolojisi bu kollardan biri olarak belirtilebilir (Oxford, 2008). Havayolu operasyonlarının emniyetli bir şekilde icra edilebilmesi amacıyla meteorolojik olayların havacılık faaliyetlerine etkisini belirlemek için meteorolojik olayların anlık ve gelecek ile ilgili tahmin raporlarını sunan, meteoroloji koluna havacılık meteorolojisi denmektedir (URL 6). Yayınlanan meteoroloji raporlarının havayolu operasyonlarına etkisinin belirlenebilmesi için dispeçlerin meteoroloji konusunda belirli bir yetkinliğe sahip olması gerektiği bildirilebilmektedir (ICAO Doc. 7192-AN/857); Havayolu operasyonları etkisi açısından takip edilen olaylar aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Akbaba, 2021:2668):

- Bulutlar ve sis,
- Buz ve damlacık mikrofiziği,
- Yağmur tipi ve oranı,
- Donan yağış,
- Buzlanma ve yer buzlanması,
- Don,
- Dikey ve yata görüş,
- Savrulan kar ve kar fırtınası,
- Cepheler (soğuk sıcak ve konvektif),
- Yıldırım, ve
- Volkanik kül ve toz fırtınası.

2.1.2. Prosedürler ve Bildirimler

Havayolu operasyonlarının emniyetli bir şekilde icra edilebilmesi için ilk uçuştan itibaren bir dizi sözleşme, yönetmelik, mevzuat ve anlaşmalar yürürlüğe konmuştur. Ulusal ve uluslararası havayolu operasyonları için eğitim, lisanslama, sertifikalandırma vb. ile ilgili olarak belirli standartların uygulanmasını gerektiren bu prosedürler emniyetli bir uçuş operasyonu için önem arz etmektedir. ICAO uluslararası alanda, uçak işletimi için asgari gereklilik olarak Standartlar ve Tavsiye Edilen Uygulamalar (Sözleşme Ekleri) geliştirir ve kabul eder. Ulusal düzeyde devletler bu asgari gereklilikleri temel olarak kendi hava sahalarında geçerli olan AIP (Aeronautical Information Publication-Havacılık Enformasyon Yayını) gibi prosedürleri geliştirirler (ICAO Doc. 7192-AN/857).

AIP, bir devlet tarafından veya bir devletin yetkisiyle yayınlanan ve hava seyrüseferi için gerekli olan kalıcı nitelikte havacılık bilgilerini içeren bir yayındır (ICAO Annex 15 - Havacılık Bilgi Hizmetleri). AIP, ilgili olduğu belirli bir ülkede uçağın işletilmesiyle ilgili düzenlemelerin, prosedürlerin ve diğer bilgilerin ayrıntılarını içerir. Genellikle ilgili sivil havacılık idaresi tarafından veya adına düzenlenir ve kalıcı bilgi ve uzun süreli geçici değişiklikler için temel bilgi kaynağını oluşturur. Bir ülkeye sefer düzenlendiğinde o ülke AIP'sinin incelenmesi ve seferin buradaki kurallara uygun icra edilmesi uçuşlarda aksaklık yaşanmaması açısından önem arz etmektedir (URL 7).

Dispeçerlerin sahip olması gereken yetkinliklerden biri de NOTAM (Notice to Air Mission-Havacılara Bildiriler) yayınlarının yayınlarının yorumlanması ve takip edilmesi olarak ifade edilebilir. NOTAM "Notice to air mission" İngilizce ifadesinin kısaltmasından oluşturulmuş bir havacılık terimidir ve kaptan, dispeç, operasyon yöneticisi gibi uçuş operasyonu ile ilgili havacılık çalışanlarını herhangi bir havacılık tesisi, hizmeti, prosedürü veya tehlikesi ile ilgili durumu veya değişikliği içeren ve zamanında bilinmesi gereken bir bildirimdir. uçuş operasyonları ile ilgili personele. (ICAO Annex 11, 2001). NOTAM bildirimleri kalkış ve varış meydanına, yedek meydanlara uçulacak gava sahalarına ait önemli bilgileri içermektedir. NOTAM bildirimleri genellikle aşağıdaki hususları içermektedir (URL 8):

- Uçulacak rotadan gösterileri, paraşütle atlamalar ve planör mevcutsa ve seferleri etkileyecek düzeyde ise bu faaliyetler NOTAM ile bildirilmektedir.
- İlgili ülkenin veya başka ülkelerin devlet yöneticileri ile ilgili seferler varsa NOTAM yayını yapılmaktadır,
- Kapalı pistler, taksi yolları tahditleri gibi olaylarla ilgili bildirimler,
- Ülkelerin hava sahası ile ilgili seviye tahditi veya kapalılıkları NOTAM ile bildiriler,
- Pist, taksi yolları veya meydana gelen herhangi bir çalışmanın (inşaat çalışması gibi) etkileri ile ilgili bildirimler, ve
- Hizmet dışı olan yaklaşma kolaylıkları, radyo seyrüsefer yardımcıları ile ilgili bildirimler.

Uçak arızaları; Havayolu operasyon yönetiminde uçak arızaları sonucu oluşan problemlerin çözümünde bazı referanslardan faydalanılmaktadır. Özellikle MEL (Minimum Equipment List-Minimum Ekipman Listesi), CDL (Configuration Deviation List-Konfigurasyon Sapma Listesi) bu referanslardan önemli olanlardır. MEL, belirli bir uçak tipinin uçuşu gerçekleştirilebilmesi için bulunması gerekli minimum sistem, komponent, equipment listesidir ve her uçak tipi için farklıdır (ICAO, 2017). "CDL, uçuşun başlangıcında hava aracı tipinin herhangi bir dış parçasını tanımlayan, tasarım durumunun onayı ile tip tasarımından sorumlu kuruluş tarafından oluşturulan bir listedir ve gerektiğinde, ilgili işletim sınırlamaları ve performans düzeltmesi hakkında bilgileri de içermektedir." Dispeçerler seferlerde arıza olduğunda bu referanslara göre mevcut arıza ile uçuşun gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğine ve eğer arıza ile uçuş icra edilebilirse bir kısıtlama getirilip getirilmediğini tespit edecek yetkinlikte olması gerekmektedir (NO GO: Bir uçak tipinde meydana gelen arıza ile uçuşun icra edilemeyeceğini bildiren havacılık terimidir) (Akbaba, 2020:1347-1348).

Uçak performansı; uçağın emniyetli bir şekilde en verimli performans ile uçuş operasyonunu gerçekleştirilmesi havayolunun ticari olarak avantaj sağlamasına katkı sağlayacaktır. Günümüzde sürekli geliştirilen uçakların Operasyon maliyetlerinin optimum seviyede tutularak seferleri gerçekleştirilmesi dispeçerin performan verilerine verimli kullanma yetkinliğine bağlıdır. Uçağın optimum yüklenmesi, en avantajlı yakıt miktarı ile uçuşun gerçekleştirilmesi örnek olarak verilebilmektedir (ICAO Doc. 7192-AN/857).

Hava trafik yönetimi: Hava trafiğinin güvenli ve düzenli bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla, farklı özelliklerdeki uçuş bölgelerinde, ayrıca yaklaşma ve meydan kontrol bölgelerinde verilen hizmetlerin tümüdür. Operasyonların tüm aşamalarında uçağın güvenli ve verimli hareketini sağlamak için gerekli olan hava ve yer tabanlı fonksiyonların (hava trafik hizmetleri, hava sahası yönetimi ve hava trafik akış yönetimi) toplamı olarak ifade edilebilir (URL 9). Havayollarında uçuş planlama, izleme ve koordinasyondan sorumlu bir dispeçer hava trafik ile ilgili gelişebilecek problemler için uçuşları takip etmektedir. Hava trafik hizmeti bir hava aracının işletilmesinde önemli bir unsur olduğundan, dispeçer'ler hava trafik yönetimini nasıl çalıştığı ve sorumluluklarıyla nasıl ilişkili olduğu hususunda önemli ölçüde bilgi sahibi olmalıdır. Bunlara ek olarak sefrüsefer usulleri muhabere yöntemleri, tehlikeli maddeler dispeçer'in sahip olması gereken yetkinlikler arasında olduğu ifade edilebilmektedir.

Dispeçerin sürecinde aşağıdaki faaliyetlerin yer aldığı bildirilebilir (Akbaba, 2021:2667):

- Uçuş öncesi kaptanların uçuş için hazırlanmasına gerekli bilgi ve belge ile destek olmak,
- Kaptanlara ve ilgili hava trafik ünitelerine göndermek üzere uçuş planını hazırlamak,
- Hazırladığı uçuş planına uygun bir şekilde uçuşun icra edilip edilmediğini çeşitli araçlarla kontrol etmek ve gerektiğinde uçuş planının yenilenmesi için aksiyon almaktır.

Uçuş harekât sürecinde uçuş planının hazırlanması için aşağıdaki faktörler kontrol edilerek emniyetli bir uçuş sürecinin gerçekleşmesi sağlanmaktadır (ICAO Annex 6, 2018):

- Uçuş müsaadesinin ilgili ülkelerden temin edilmesi,
- Seferi icra edecek uçakta arıza olup olmadığının kontrolü ve varsa bu arızanın uçuşu icra etmeye engel teşkil edip etmediğinin kontrolü ve eğer engel teşkil ediyorsa uçuşu icra edecek uçağın değiştirilmesi,
- Uçağın iniş kalkış yapacağı meydanların, yedek meydanların ve üzerinden geçeceği hava sahalarının hava durumu raporlarının kontrol edilmesi,
- Uçuşun gerçekleştiği ülkelerin hava trafik ünitelerinin yayınladığı bildirimleri takip ederek uçuşa etkilerinin kontrol edilmesi.

Bütün bu parametreler sonucunda hazırlanan uçuş planı hem kaptan hem de ATC (Air Trafik Kontrol-Hava Trafik Kontrol) üniteleri için gerekli olan bilgileri içermektedir ve bu iki paydaşa uçuş planı iletilmektedir.

Uçuş harekât sürecinde meteoroloji, notam, uçak arızaları ve uçuş müsaadesi temini hususunda havayollarının uçuşlarında aksaklıklar meydana gelebilmektedir. Bu çalışmanın amaçlarından biri de dispeçer kaynaklı bu aksaklıkların belirlenmesidir.

2.2. Operasyon Kontrol Merkezi (OCC) ve Entegrasyon

Entegrasyonun günümüzde yönetim anlamında önem arz ettiği ifade edilebilmektedir. Karmaşık bir ortamda faaliyet gösteren işletmeler kendilerini etkileyen faktörleri yönetim düzeyinde tek tek değerlendirdikleri gibi operasyon düzeyinde de değişken ve parametrelerin etkilerini göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Havayolları da karmaşık bir ortamda faaliyette bulunmaktadır. Yakıt fiyatları, grev, meteoroloji gibi faktörlerin etkilerinin sınırları konusunun değerlendirilmesinin tüm havayolu faaliyetleri düzeyinde yapılmasının gerekli olduğu açıktır (Abdelghanya vd., 2008: 826; Wu, 2009: 6). Karmaşık ortamda yürütülen havayolu operasyonlarında bir süreçte çıkan problem diğer süreci de etkileyebilmektedir. Başka bir ifade ile çıkan bir problem çözüldüğünde o problemin diğer operasyon süreçlerinden birini etkilemesi ile problemler aksaklığa dönüşebilmektedir. Örneğin; teknik operasyon sürecinde bir uçak arıza oluştu ve bu problem teknisyenler tarafından giderilmiştir. Fakat arızanın giderilmesi için geçen sürede uçuş ekibinin görev süresi problemi olduğundan problem aksaklığa dönüşmüş olabilmektedir. Operasyon süreçleri birbirini etkilemesi nedeniyle havayolu sektöründe entegre bir operasyon yönetim organizasyonuna gitme zorunluluğunun olduğu görülmektedir (Lufthansa Consulting, 2011). Ayrıca farklı noktalarda yürütülen bu süreçler arasındaki öncelik çatışması ve zayıf iletişimden kaynaklanan sorunlar da aksamalara neden olabilir (Cook ve Billig, 2017:147).

OCC, organizasyon içindeki süreç çalışanları aracılığıyla havayolunun uçuş tarifesini takip ederek problemleri entegre bir yönetim anlayışıyla çözmeyi amaçlamaktadır. OCC altında tek bir noktada operasyonların entegrasyonu, ticari ve operasyonel başarıyı önemli ölçüde arttırmaktadır. OCC operasyon sürecini gerçekleştiren birim değildir. Bu süreçleri bünyesindeki süreç çalışanları vasıtası ile takip ederek problemleri belirleyerek aksaklığa dönüşmesini engellemeye çalışmaktadır. Bu süreçlerden bazıları aşağıdaki gibidir (Kohl vd., 2007:151):

- Kokpit, kabin personelinin uçuşlara atanması süreci: Uçuş sürecini icra eden kokpit ve kabin ekibinin ulusal ve uluslararası kurallara göre seferleri icra ederler; maksimum günlük, haftalık, aylık ve yıllık belirli sürelerde uçuş limitine göre ekiplerin uçuşlara atanması örnek olarak verilebilir.
- Dispeç Süreci: Bir uçağın park yerinden ayrılması ve varış noktasında park etmesine kadar geçecek safhanın önceden planlanmasını içermektedir.
- Yer Hizmetleri Süreci: Yerde yolcuya ve uçağa bazı servislerin sağlanması gerekmektedir. Su, yakıt ve boarding örnek olarak verilebilmektedir. Yer hizmetleri süreci yolcuya ve uçağa sağlanan bu hizmetleri içermektedir.
- Bakım operasyon süreci: Arızaların giderilmesi, uygun periyotlarda bakım yapılması, sefer öncesi ve sonrası seferlere teknik hizmet sağlanması olarak belirtilebilir.
- Uçak Atama Süreci: Havayollarında ekip kaynağı ile birlikte maliyeti yüksek kaynağı uçak kaynağı olarak belirtilebilir. Bu kaynağın en optimum seviyede kullanılması yoğun rekabet ortamında faaliyet gösteren havayolları açısından önem arz etmektedir. Uçak atama memuru (Operasyon kontrolörü) OCC organizasyonunda bu süreci icra etmektedir.

Havayollarını faaliyetlerinin esasını yolcu ve kargo taşımacılığı oluşturmaktadır. Havayolu işletmelerinin bu faaliyetleri sonucu sağladıkları gelirler geciken, iptal edilen veya diert eden düzensiz uçuşların getirdiği ilave maliyetler nedeniyle azalmaktadır. Bu sebeple havayolu süreçlerinin uçuş programı doğrultusunda icra edilmesi karın optimizasyonu açısından önem arz etmektedir. Havayolları daha etkin operasyon yönetimi için yeni bir organizasyona gitmişlerdir; OCC vasıtasıyla maliyetleri arttıran aksaklıkların giderilerek havayolu işletmesinin gelirlerini maksimize etmeyi amaçlamaktır.

Havayolu operasyon yönetiminde aksaklığa dönüşen birçok problemle karşılaşılabilir. Avrupa havasahasını yöneten Eurocontrol 2017'nin üçüncü çeyreğinde Eurocontrol havasahasında uçuşların yaklaşık olarak yüzde 24'ünün gecikmeli gerçekleştiğini bildirmiştir. 2007'de Ameriki Devletinin havacılık otoritesi FAA (Federal Aviation Administration-Federal Havacılık Dairesi) verilerine göre toplam gecikme maliyetinin 32.9 milyar dolar olduğu bildirilmiştir (Hassan vd., 2021: 2). Düzensiz uçuşların maliyeti havayollarında operasyon yönetiminin önemini ortaya koymaktadır. Havayolu operasyonları grevler ve uçak arızaları gibi sebeplerden aksayabilmektedir. OCC içinde yer alan dispeç biriminin süreçlerinin de meteorolojik faktörler gibi aksaklık kaynağı olabildiği belirtilebilmektedir. OCC'nin görevi operasyon problemlerini aksaklığa dönüşmeden gidererek maliyetleri optimum seviyede tutacak kararların alınması olarak belirtilebilmektedir (Kohl vd., 2007: 151).

Havayollarında operasyon kararları üç seviyede; stratejik, taktik ve operasyonel şekillenmektedir;

- Stratejik Kararlar: Uzun dönem hedefler, havayolu ittifakları ile yapılacak hizmet anlaşmaları, pazar tahminleri ve bu tahminler doğrultusunda alınacak kararlar, büyüme hedefi doğrultusunda alınacak optimum fayda sağlayacak uçaklarla filonun genişletilmesi, sefer düzenlenecek yeni varış noktalarının belirlenmesi, ekip kaynağının artırılması ile ilgili kararlardır.
- Taktik planlama aşamasında; stratejik düzeyde sunulan kaynakların planlanması yapılmaktadır. Uçuş programını oluşturma, uçuş ekip kaynağının planlanması, uçak bakımlarının planlanması ve uçak kaynağının seferlere planlanması bu seviyede gerçekleştirilmektedir. Yüksek maliyetli uçak ve ekip kaynağının planlanması bu aşamada gerçekleştirildiğinden kaynakların optimum değerlendirilmesi yönünden önem arz etmektedir.
- Operasyonel planlama aşamasında ise; özellikle uçuş programının aksamadan icra edilmesi amaçlanmaktadır. Uçuş programı üst düzey kararların sonucu olduğundan işletmenin hedefinin gerçekleştirilmesinde anahtar rol oynamaktadır.

En alt seviye kararları olan operasyonel kararlar daha üst seviyedeki kararlarla uyumlu olmalıdır. Havayolu operasyon yönetiminde OCC üst yönetimin kararlarına entegre olan bir yönetim anlayışı ile operasyon uçuş tarifesine uygun olarak aksamadan yürütülmesini amaçlamaktadır. Fakat bu her zaman mümkün olmayabilmektedir. Uçak arızaları gibi bazı faktörler nedeniyle OCC havayolunun uçak ve ekip kaynağını kullanarak bazı kararlar almak zorunda kalabilmektedir (Akbaba, 2021: 1106).

Aksaklık yönetimi veya kurtarma operasyonu denilen bu safhada OCC uçuşun minimum operasyon maliyetli çözümünü uygulamayı amaçlamaktadır. OCC'nin aksaklık yönetiminde aldığı kararlar genel olarak aşağıdaki gibidir (Akbaba, 2022: 2836):

- Sefer saatinin ötelenmesi,
- Seferin iptal edilmesi,
- Seferin başka bir uçak ile gerçekleştirilmesi,
- İki uçuşun tek uçuş olarak yapılması,
- İki sefer noktasına teknik iniş planlanması (teknik iniş yakıt ikmali için bir havaalanına inilmesi olarak belirtilebilir (URL 5).

Havayolu operasyon yönetiminde aksaklık yönetimi ve aksaklık yönetiminde entegrasyon ile ilgili çalışmalar genel olarak aşağıdaki şekilde bildirilebilir;

Tablo 1. Aksaklık yönetimi ve aksaklık yönetiminde entegrasyon ile ilgili çalışmalar

Yazar	Başlık	Çözüm önerisi
Kohl vd., 2007	Airline disruption management— Perspectives, experiences and outlook	Operasyon süreçlerinin birbirini etkilemesi sebebiyle aksaklık yönetiminde entegrasyonun önemini vurgulamıştır
Abdelghanya, vd., 2008	An integrated decision support tool for airlines schedule recovery during irregular operations	Aksaklık olmadan önce tüm kaynakların gözönüne alındığı entegre bir aksaklık giderme planı oluşturan bir karar destek aracı sunulmuştur.
Castro ve Oliveira, 2011	Airline Operations Control: A New Concept For Operations Recovery	Multi-agent (çok ajanlı) sisteminin havayollarının problemlerinin belirlenmesine ve entegre bir şekilde çözümlenmesine uygun olduğunu bildirmişlerdir.
Serrano ve Kazda, 2017	Airline disruption management: yesterday, today and tomorrow	havayolu operasyon yönetiminde kararların entegre bir anlayışla alınmasının problemlerin çözümünde önemli olduğunu vurgulamışlardır.
Bouarfa vd., 2018	Evaluation of a Multi-Agent System approach to airline disruption management	Multi-agent (çok ajanlı) sisteminin aksaklık yönetiminde karar destek aracı olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Tablo 1. (Devamı) Aksaklık yönetimi ve aksaklık yönetiminde entegrasyon ile ilgili çalışmalar

Akbaba, A. 2021	Havayolu Operasyon Yönetiminde Notam Yayınlarından Kaynaklanan Aksaklıklar	Notam kaynaklı aksaklıkların çözüm dizinlerini gösteren algoritma sunmuştur.
Akbaba, A. 2021	Havayolu Operasyon Yönetiminde Meteoroloji Kaynaklı Aksaklıklar	Meteoroloji kaynaklı aksaklıkların çözüm dizinlerini gösteren algoritma sunmuştur.
Hassan et al., 2021	Airline Disruption Management: A literature review and practical challenges	Havayolu yöneticilerinin problemlerin çözümünde havayolu operasyon süreçlerinin birbirlerini etkilemesi nedeniyle entegre bir anlayışla karar vermeleri gerekliliğini vurgulamışlardır.
Su vd., 2021	Airline Disruption Management: A Review of Models and Solution Methods	Havayolu operasyon problemlerinin çözümünde entegre bir yaklaşım sunmuşlardır. Fakat tam bir entegrasyonun sağlanmasının havayolu operasyonlarının karmaşıklığı nedeniyle hala araştırmaya açık bir alan olduğunu vurgulamışlardır.
Wen vd., 2021	Airline crew scheduling: Models and algorithms	Kokpit ve kabin ekiplerinin uçuş planlamaları ile ilgili problemlerde aksaklık yönetimi ile ilgili bir algoritma çalışması yapmışlardır
Ogunsina vd., 2021	Exploratory data analysis for airline disruption management	Makine öğrenme tekniklerinin aksaklık yönetiminde ampirik süreçleri doğrulamada uygun platformlar sağladığını belirlemişlerdir.
Ogunsina vd., 2022	Relational dynamic Bayesian network modeling for uncertainty quantification and propagation in airline disruption management	Aksaklık yönetiminde belirsizliği karakterize eden bir modeli tanıtmışlardır.
Ogunsina ve DeLaurentis, 2022	Enabling integration and interaction for decentralized artificial intelligence in airline disruption management	Aksaklık yönetiminde yapay zeka ve dağıtık defter teknolojisi ilkelerini kullanan Multi-agent (çok ajanlı) system aracılığı ile entegre bir şekilde operasyon kurtarma sağlayan bir model sunmuştur.
Nisse vd., 2023	Recovery of disrupted airline operations using k-Maximum Matching in Graphs	Aksaklık yönetiminde kaybedilen slot hakkını kurtarma operasyonu için bir model sunmuştur.

3. Metodoloji

3.1. Araştırmanın Amacı ve Yöntemi

Havayollarında aksaklık maliyetleri geciken, iptal edilen ve divert eden seferlerin maliyetlerinden oluşmaktadır. 2017 üçüncü çeyreğinde Eurocontrol verilerine göre seferlerin yüzde 24'ü gecikmeli icra edilmiştir (Hassan vd., 2021: 2). Bu sadece geciken sefer verileridir. Bunlara iptal edilen, divert eden (bir uçağın varış havaalanı yerine uçuş sırasında oluşan bir problem nedeniyle uygun olan yedek meydana inmesi anlamına gelmektedir (Malandri et al., 2020; 537-538)) seferlerde eklenirse aksaklık ve düzensiz operasyon sefer sayısının havayolları için önemli bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle son yıllarda havayolları düzensiz ve aksaklık operasyonlarını azaltarak rekabette avantaj elde etmek istedikleri bildirilebilmektedir. Bunu yapabilmek için operasyonu bütünsel bir anlayışla yönetmenin önemli olduğu ifade edilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı havayolu operasyon kararlarında entegrasyonu sağlayabilmek için havayolu OCC bünyesinde yer alan süreçlerden dispeç kaynaklı problemleri belirleyerek bu problemlerin diğer havayolu süreçlerine etkilerini tespit etmek olarak bildirilebilmektedir. Böylece, havayollarının operasyon yönetiminde dispeç sürecinin diğer operasyon süreçlerine etkileri ortaya çıkarılarak entegre bir yönetim anlayışına katkı sağlanmak amaçlanmıştır.

Bu çalışma nitel araştırma yöntemleri arasında yer alan olgu bilim deseninde tasarlanmıştır. Olgu bilim kişilerin tecrübeleri üzerinde durmakta ve bu tecrübelerin anlamlandırılması üzerine odaklanmaktadır (Doğanay vd, 2012: 97). Kişilerden elde edilen veriler ile işletmelerdeki uygulama ve tekniklerde değişikliklere yol açacak öneriler ortaya konulmaktadır. Bu yöntem aslında farkında olduğumuz fakat derinlemesine bir anlayışa sahip olmadığımız olgular üzerinde durmaktadır.

3.2. Evren ve Örneklem

Bu çalışmada evren havayollarının operasyon yönetimidir. Havayolları aynı uluslararası uçuş kurallarını takip ettiğinden operasyonlarından kaynaklanan aksaklıklar da genel anlamıyla örtüşmektedir. Hava durumu ve teknik arıza gibi problemler örnek olarak bildirilebilmektedir.

Araştırmanın çalışma grubunun belirlenmesinde, amaçlı örnekleme yöntemlerinden tipik durum örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Tipik durum örnekleme evreni en genel şekliyle tasvir eden örneklemin bulunması şeklinde ifade edilebilmektedir. Örneklem olarak Türkiye’de bir havayolu operasyon yönetimi seçilerek konusunda uzman olarak çalışan operasyon süreç çalışanları tespit edilerek ilk adımda dispeç süreci ile ilgili düzensiz uçuş ve aksaklık nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra diğer operasyon süreçlerinden katılımcılar belirlenerek bu problemlerin kendi süreçlerinde oluşturabileceği düzensizlikleri ve aksaklıkları belirtmeleri istenmiştir. Çalışmada, veri toplamak için önce Dispeç kaynaklı düzensiz uçuş ve aksaklık nedenlerinin belirlenmesi amacıyla 20 dipatcher ile görüşülmüştür. Daha sonra diğer operasyon süreçlerinden 3 yer hizmetleri, 2 meydan slot, 3 teknik ve bakım takip, 3 ekip planlama, 2 yolcu hizmetleri, 2 kargo operasyon birimi çalışanı ile görüşülerek dispeç kaynaklı problemlerin kendi süreçlerinde hangi problemlere sebep olarak aksaklığa neden olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgular tutarlılık sağlanması amacıyla 5 operasyon yöneticisi ile son haline getirilmiştir. Toplam 40 kişi ile görüşülmüştür.

Etik Kurul Adı: T.C. İstanbul Rumeli Üniversitesi Rektörlüğü

Tarih: 28. 01. 2022

Sayı No: E-53938333-050.06-11058

3.3. Verilerin Analizi

Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Veriler görüşme yöntemi ile elde edilmiştir. Katılımcılar OCC organizasyonunda çalışan kişilerden seçilmiştir. Çalışma süreleri beş yıl ve üzerinde olan katılımcılar seçilmiştir. Çalışmada Dispeç kaynaklı düzensiz uçuş ve aksaklık nedenlerinin belirlenmesi için 20 dipatcher ile görüşülmüştür. Elde edilen veriler 5 operasyon yöneticisi ile değerlendirilerek filtre edilmiştir. Daha sonra diğer operasyon süreçlerinden 3 yer hizmetleri, 2 meydan slot, 3 teknik ve bakım takip, 3 ekip planlama, 2 yolcu hizmetleri, 2 kargo operasyon birimi çalışanı ile görüşülerek dispeç kaynaklı problemlerin kendi süreçlerinde hangi problemlere sebep olarak aksaklığa neden olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu veriler 5 operasyon yöneticisi (daha

önce dispeç katılımcılarından elde edilen bilgileri filtre eden aynı 5 yönetici) ile değerlendirme sonucunda son haline getirilmiştir.

3.4. Araştırmanın Varsayımı:

Bu çalışmada katılımcıların soruları doğru cevapladıkları varsayılmıştır. Alanında uzman olan kişiler katılımcı olarak tespit edildiğinden veriler arasında tutarsızlığa rastlanmamıştır. Araştırmanın operasyonu OCC tarafından yönetilen havayollarını kapsadığı varsayılmıştır. OCC özellikle Operasyon süreçleri arasında entegrasyon ile ilgili problemleri önlemek ve aksaklık maliyetlerini azaltmak amacıyla organize edildiğinden çalışma OCC süreçlerine uygun tasarlanmıştır.

4. Bulgular

Bulgular bölümünün ilk kısmında dispeç süreci ile ilgili düzensiz operasyon veya aksaklık oluşmasına neden olan problemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu amaçla 20 dispeçer ile görüşülmüştür. Görüşme sonucunda dispeç kaynaklı aksaklıklar düzensiz operasyon veya aksaklık oluşmasına neden olan problemler dört başlık altında toplanmıştır. Daha sonra bu başlıklar ile ilgili problemler katılımcılar tarafından aşağıdaki şekilde bildirilmiştir:

1. Notam ve AIP kaynaklı problemler; NOTAM ve AIP ülkelerin hava trafiklerini yöneten birimler tarafında uçuş operasyonu ile ilgili kısıtlamalar, prosedürler ve yeniliklerin yapıldığı bildirimler olarak aktarılmıştır. Problemler aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir;
 - Havaalanının tamamıyla kapanması ya da bir kısmının kapanması; bazen bu bildirimler sonucu havaalanı tamamıyla kapanır ya da pist veya pistler veya pistin bir bölümü kapatılır. Bu da dispeç sürecinde bir problem oluşmasına neden olabileceği ifade edilmiştir.
 - Uçaların iniş için piste yaklaşma sürecinde kullanılan bazı ekipmanların ve ışıkların çalışmaması; yaklaşma sürecini kolaylaştıran bazı ekipmanların ve ışıkların çalışmadığı ile ilgili bildirimler aksaklıklara neden olabileceği aktarılmıştır.
 - Hava sahası kapalılığı ile ilgili bildirimlerin de bazı operasyon problemlerine sebep olabileceği bildirilmiştir.
2. Meteorolojik olaylarla ilgili problemler
 - Görüş; Sis, yağış gibi bazı meteorolojik olaylar görüşün düşmesine neden olabilmektedir. Katılımcılar görüşün bazı mesafelere düşmesinin kalkış ve iniş sırasında havayolu operasyonlarını etkilediğini belirtmişlerdir.
 - Şiddetli rüzgâr; Uçağı iniş ve kalkışta etkileyerek operasyonel probleme neden olduğu ifade edilmiştir.
 - Kar yağışı; Pistin karla kaplı olmasının iniş ve kalkış operasyonunu etkilediği aktarılmıştır. Ayrıca uçakların kalkış yapana kadar yüzeylerinde kar birikmesini önlemek amacıyla yüzeylerine bazı sıvıların tatbik edilmesi gerekmektedir. Bu işleme buzlanmayı önleme (de-icing) denmektedir. Bu işlemin uzun sürmesinin problemlere neden olabileceği vurgulanmıştır.
 - Volkanik Aktivite; İniş, kalkış yapılacak meydan ve çevresinde havacılık faaliyetlerini etkileyecek seviyede oluşmasının problemlere neden olacağı bildirilmiştir.
3. Müsaade problemleri; Bir uçuşun gerçekleştirilmesi için uçuş yapılacak ülkelerden iniş, kalkış müsaadesi ve hava sahası kat edilecek ülkelerden üst geçiş müsaadesi temin edilmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda bu müsaadelerin zamanında temin edilememesi operasyon problemlerine neden olabilmektedir.
4. Eurocontrol slot problemleri; Avrupa hava sahasında uçuş faaliyetleri için kapasitenin yönetilmesi amacıyla slotlar tahsis edilmektedir. İniş, kalkış trafiğinin hava trafik birimlerince yönetilmeyecek kadar yoğun olması ve hava sahasının hava trafik birimlerince yönetilmeyecek kadar yoğun olması nedeniyle verilen bu slotlar operasyon problemlerine neden olmaktadır.

5. Uçak arızaları; Bazı uçak arızaları ile uçaklar sefer icra edebilmektedir. Bunun için dispeçin yapması gereken işlemlerin mevcut olduğu ifade edilmiştir. Bu işlemler bazı durumlarda yerine getirilemediğinde problem oluşabilmektedir.

Bu problemler sonucu alınacak operasyon kararları aşağıdaki gibi bildirilmiştir:

- Problemin seferin kalkış saatine kadar çözüleceği öngörülüyorsa bir önlem alınmamaktadır.
- Seferin kalkış saatinin ötelenmesi; Kalkış saatinden belirli bir süre sonra çözülmesi bekleniyorsa sefere ileri bir saatte kalkacak şekilde planlanmaktadır.
- Seferin iptal edilmesi; Problemin çözümünün uzun zaman alması öngörülüyorsa sefer iptal edilebilmektedir.
- Seferlerin birleştirilmesi; problemin çözümü uzun sürdüğünde aynı noktaya giden başka seferler ile birleştirilebilmektedir. Bu durumda genellikle sefer yolcu taşıma kapasitesi daha büyük uçakla icra edilmektedir.
- Uçak değişikliğine gidilmesi; Bazı uçak arızaları ile uçaklar sefer icra edebilmektedir. Bunun için dispeç'in yapması gereken işlemlerin mevcut olduğu ifade edilmiştir. Bu işlemler bazı durumlarda yerine getirilemediğinde uçak değişikliğine gidilebilmektedir.
- Uçuş ekiplerinin değiştirilmesi; Problemin çözümü sonrası uçuş ekiplerinin görev sürelerinin biteceği öngörülüyorsa ya da sefer gecikmeli icra edildiğinden uçuş ekipleri bir sonraki uçuş görevlerini zamanında icra edemeyecekse ekip değişiklikleri yapılabilmektedir. İlave olarak, bazı Notam bildirimleri sonucu özel kokpit ekibi yetkilikleri uçuş icra edilmesi için gerekmektedir. Bu durumda da ekip değişimi olabilmektedir.

Katılımcıların görüşleri doğrultusunda oluşturulan bu problemlerin ve bu problem için alınabilecek çözümlerin diğer operasyon süreçlerde problem oluşturması hususunda aşağıdakiler bildirilmiştir.

Ekip planlama; uçuş ekip planlamaya etkileri aşağıdaki gibi olduğu aktarılmıştır:

- Seferin ötelenmesi; Ekip görev süresinin kontrol edilmesi gerektiği eğer ekip görev süresi seferin devamı için uygun değilse değiştirilmesi gerekmektedir. Yedek ekip ya da uygun ekip bulunamaz ise ilave problem ile karşılaşılabilir.
- Seferlerin birleştirilmesi; Seferlerin birleştirilerek daha fazla koltuk kapasitesi olan uçaklarla yeni sefer icra edilmektedir genellikle. Bu durum yeni bir uçuş ekibi oluşturulmasını gerektirebilir. Eğer mevcut değilse ilave bir problem oluşabilmektedir.
- Uçak değişikliğine gidilmesi; Uçak değişikliği sonrası seferi icra edecek uçak tipi farklıysa yeni kokpit ekibi sefer atamak gerekebilmektedir. Eğer bu kaynak yoksa ilave bir operasyon süreci problemi çıkabilmektedir.
- Uçuş ekiplerinin değiştirilmesi; Görev süresi sona erdiğinde uçuş ekibi değişikliğine gidildiğinden bahsedilmişti seferin ötelenmesi bölümünde. Buna ilave olarak bazı Notam bildirimleri sonucu özel kokpit ekip yetkinliği operasyon için gerekebilmektedir. Bu ekip kaynağı bulunamazsa ilave bir problem oluşabilmektedir.

Bakım operasyon sürecine etkisi; aşağıdaki çözümler uygulandığında bakım operasyon sürecinde problemler çıkabileceği aktarılmıştır:

- Uçak değişikliğine gidildiğinde eğer yedek uçak kullanılıyorsa seferden alınan uçağın arızasının giderilmesi veya bakımdaki başka bir uçağın operasyon için daha erken teslim edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Eğer başka bir sefer için uçak değişikliğine gidilmesi çözümü gerekirse ve yedek uçak kullanılması durumunda mevcut olmazsa bakım operasyon sürecinde problem meydana gelebilmektedir.

Meydan Slot; Bu süreçte aşağıdaki durumda problem çıkabileceği bildirilmiştir:

- Sefer geciktirildiğinde yeni meydan slotunun alınması gerekebilmektedir. Eğer meydan otoritesi yeni kalkış saatine göre slot tahsis edemez ise daha ileri bir saatte slot vermek zorunluluğu mevcuttur. Verilen bu slot saati seferin gecikme süresini daha da arttırarak ilave bir probleme neden olabilmektedir.

Yer hizmetleri; dispeç operasyon süreci problemlerinde yukarıdaki çözümler uygulandığında yer hizmetlerinde aşağıdaki problemlerin çıkabileceği ifade edilmiştir:

- Seferlerin iptal edilmesi nedeniyle bozulabilir kargonun veya acil taşınması gereken kargonun taşınmaması işletmeye ilave maliyetler getirebilmektedir. Sefer iptali nedeniyle yolcuların konaklama ihtiyaçlarının giderilmesi gerekmektedir. Bazı periyotlarda bu mümkün olmayabilmektedir.

Yolcu Hizmetleri; yolcu hizmetleri süreci ile ilgili problemler aşağıdaki gibi aktarılmıştır:

- Sefer iptal edildiğinde yolcunun hangi seferlere aktarılacağı, fiyat iadesi gibi ilave problemler çıkmaktadır. Ayrıca uçak değişikliğinde yolcunun aldığı biletin sınıfının karşılığındaki hizmeti alamaması gibi problemler meydana gelebilmektedir. Bir de uçak değişiklik çözümünde koltuk kapasitesinden dolayı bazı yolcuların taşınmaması problemi ortaya çıkabilmektedir.

5. Sonuç ve Tartışma

Serrano ve Kazda (2017) havayollarının uçuşlarını, bazı problemlerden dolayı gecikmeler ve iptaller oluşacağından, aksamadan yürütemeyeceklerini belirtmişlerdir (Serrano ve Kazda, 2017: 4). Bu problemlerle ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Akbaba (2020), teknik problemler nedeniyle oluşabilecek problemlerin aksaklığa dönüşmeden çözümü için bir algoritma çalışması yapmıştır (Akbaba, 2020: 1450-1451). Wen vd. (2021), çalışmalarında kokpit ve kabin ekiplerinin uçuş planlamaları ile ilgili problemlerde aksaklık yönetimi ile ilgili bir algoritma çalışması yapmışlardır (Wen, vd., 2021: 7-11). Havayolu operasyon yönetiminde disptach kaynaklı problemlerin önemli bir yer tuttuğu ifade edilebilir. Bu çalışma da disptach kaynaklı problemlerin belirlenmesi açısından bu çalışmalara katkı sağladığı bildirilebilmektedir.

Dispeç operasyon sürecinin OCC operasyon yönetim periyodunda genel olarak düzensiz operasyonlara ve operasyonlarda aksaklığa daha fazla neden olduğu bildirilebilmektedir. Katılımcılar bu problemlerin bazılarının çözümlerinin bulunduğu bazılarının ise aksaklıkla sonuçlandığını aktarmışlardır. Buradan operasyon yönetiminde havayolu için optimum fayda sağlayacak kararlar alarak havayolunun düzensiz operasyon ya da aksaklık meydana gelmiş seferlerinin sayısı azaltılarak gelirlerin artırılmasının sağlanmasının mümkün olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu sebeple çalışma sonucunda dispeç operasyon problemlerinin hangi şartlarda düzensiz operasyona ya da operasyonun aksamasına sebep olabileceği ve hangi problemlerde çözüm üretilebileceği ile ilgili bir çalışma yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı bildirilebilmektedir.

Serrano ve Kazda (2017), havayolu operasyon yönetiminde kararların entegre bir anlayışla alınmasının problemlerin çözümünde önemli olduğunu vurgulamışlardır (Serrano ve Kazda, 2017:10). Abdelghanya vd. (2008), çalışmalarında, havayolu operasyon yönetiminde problemleri algılayacak ve entegre bir anlayışla çözüm önerileri sunacak bir sistem geliştirmişlerdir (Abdelghanya, vd., 2008: 847). Hassan vd. (2021), çalışmalarında havayolu yöneticilerinin problemlerin çözümünde havayolu operasyon süreçlerinin birbirlerini etkilemesi nedeniyle entegre bir anlayışla karar vermeleri gerekliliğini vurgulamışlardır (Hassan, vd., 2021: 15). Su vd. (2021), çalışmalarında havayolu operasyon problemlerinin çözümünde entegre bir yaklaşım sunmuşlardır. Fakat tam bir entegrasyonun sağlanmasının havayolu operasyonlarının karmaşıklığı nedeniyle hala araştırmaya açık bir alan olduğunu vurgulamışlardır (Su vd., 2021: 446). Bu çalışmanın da havayolu operasyon yönetiminde entegre bir anlayışla karar alınmasına katkı sağlamak amacıyla dispeç kaynaklı problemlerin diğer havayolu operasyon süreçlerine etkilerini ortaya koyması nedeniyle önem arz ettiği vurgulanabilmektedir. Böylece, hem uygulamada havayolu operasyon yöneticilerinin dispeç problemleri ile ilgili karar sürecine katkı sağlaması hem de literatürde diğer süreç problemlerini de içine alacak bir entegrasyon çalışmasına katkı sağlayabilecek olması nedeniyle önemli olduğu belirtilebilmektedir.

Bu araştırmanın sonucunda dispeç operasyon süreci problemleri için alınacak çözüm yollarının diğer operasyon süreçlerine etkilerinin genel olarak tespit edilebildiği söylenebilmektedir. Bu etkiler düşünülmeden sadece tek boyutta değerlendirme yapılarak alınacak kararların ve uygulanacak çözümlerin başka problemlere neden olabileceği ifade edilebilmektedir. Böylece havayolu

operasyonlarının bütünleşmiş bir anlayışla yönetilmesinin optimum fayda sağlayacak kararların alınmasında önemli olduğu sonucuna ulaşılabilmektedir. Bu çalışma sonucunda ileriki çalışmalar için ikinci öneri, diğer havayolu operasyon süreç problemleri ve bu problemlerin diğer operasyon süreçlerine etkileri konusunda çalışma yapılmasının havayolu operasyonunda bütünleşmiş yönetime katkı sağlayacağı bildirilebilmektedir.

Çalışma sonucunda OCC'nin dispeç operasyon süreci ile ilgili hangi çözüm yollarını uygulayabileceği sonucuna ulaşıldığı bildirilebilmektedir. OCC operasyonu yönetirken problemlerin aksamadan giderilmesini veya işletmeye ilave maliyet yansımaları önlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda karmaşık bir ortamda yürütülen havayolu operasyon yönetiminde uçuş programının düzenli bir şekilde uygulanmasının mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sebeple OCC'nin çözüm yollarından en az ilave maliyet getirecek ve en fazla yolcu memnuniyetini sağlayacak çözüm yollarını uygulamasının işletmeye avantaj sağlayacağı bildirilebilmektedir.

Havayolu operasyon süreçlerinden her birinde oluşan problemlerin araştırılıp diğer operasyon süreçlerine etkilerinin belirlenmesi ve bunun bir bilgisayar programı olarak geliştirilmesi ile ilgili bir çalışmanın havacılık operasyonlarının bütünleşik bir anlayışla yönetilmesi hususunda hem pratiğe hem de literatüre katkı sağlayacağı söylenebilmektedir.

Son olarak, havayolu operasyon yönetiminde son zamanlarda aksaklık ve/veya düzensiz operasyon yönetimi ile ilgili çalışmalarda problemlerin giderilmesinde makine öğrenmesi gibi teknikler kullanılarak bilgisayar programlarının kullanıldığı bildirilebilmektedir. Akıllı sistemlerin ulaşımında kullanılması ve bu sistemlere girdi sağlaması açısından bu çalışmanın önemli olduğu bildirilebilmektedir. Diğer havayolu operasyon süreçlerinde aksaklığa neden olan sorunların araştırılıp tespit edilerek entegre karar vermeyi sağlayacak akıllı sistemlerde girdi olarak kullanılması uygulamaya ve literatüre katkı sağlayacaktır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abdelghanya, K. F., vd.,** (2008). An integrated decision support tool for airlines schedule recovery during irregular operations, *European Journal of Operational Research*, 185(2), 825-848.
- Akbaba, A.** (2020). Technical Disruptions In Airline Operation Management, *International Journal of Disaster Recovery and Business Continuity*, 11 (3), 1344–1354.
- Akbaba, A.** (2021). Havayolu Operasyon Yönetiminde Meteoroloji Kaynaklı Aksaklıklar, 3. *Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 56(4), 2665-2682.
- Akbaba, A.** (2021). Havayolu operasyon yönetiminde notam yayınlarından kaynaklanan aksaklıklar, 3. *Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 56(2), 1104-1127.
- Akbaba, A.** (2022). Düzensiz Operasyonların Havayolu Ücret Politikalarına ve Gelir Yönetimine Etkisi Üzerine Modelleme. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14(4), 2833–2847.
- Bouarfa, S., vd.,** (2018). Evaluation of a Multi-Agent System approach to airline disruption management, *Journal of Air Transport Management*, 71, 108-118,
- Castro, A. J. and Oliveira, M.** (2011). Airline operations control: a new concept for operations recovery, Connor R. Walsh (Ed.), *In: Airline Industry: Strategies, Operations and Safety*, Nova Science Publishers Inc., 61-97.
- Cook, G. N. and Billig, B. G.,** (2017). *Airline Operation and Management*, Routledge, New York, p.147

- Doğanay, Ahmet vd.,** (2012). Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir
- Gezgiç, O.** (2016). Havayolu İşletmelerinde Uçuş Operasyon Kontrol Merkezlerinin Stratejik ve Ekonomik Etkilerinin İncelenmesi: Bir Uygulama Örneği, İstanbul Arel Üniversitesi, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi).
- Hassan, L. K., Santos, B. F. and Vink, J.** (2021). Airline disruption management: A literature review and practical challenges, *Computers and Operations Research*, 127, 105137.
- ICAO.** (2004). *Trainin Manuel*, ICAO DOC. 7192-an/857. Flight Operations.
- ICAO.** (2014). *Operations of Aircrafts*, Annex 6 Operation Of Aircraft, Part 1 International Commercial Air Transport-Aeroplanes.
- Kohl vd.,** (2007). Airline disruption management—Perspectives, experiences and Outlook, *Journal of Air Transport Management*, 13 (1) 149-162
- Köksalınış, G. H.** (2019). Operations management perspectives in the air transport management, *Journal of Business Administration Research*, 2(1), 1-14.
- Lufthansa Consulting.** (2011). *Delay Cost Modeling and Management*, 2011: AGIFORS Airline Operations.
- Malandri, C. et al.,** (2020). Impacts of unplanned aircraft diversions on airport ground operations, *Transportation Research Procedia*, 47, 537-544.
- Nisse, N., vd.,** (2023) Recovery of disrupted airline operations using k-Maximum Matching in Graphs, *European Journal of Operational Research*, (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.12.033>.)
- Ogunsina, K., vd.,** (2021). Exploratory data analysis for airline disruption management, *Machine Learning with Applications*, 6, 100102.
- Ogunsina, K., and DeLaurentis, D.,** (2022). Enabling integration and interaction for decentralized artificial intelligence in airline disruption management, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 109, 104600,
- Ogunsina, K., vd.,** Relational dynamic Bayesian network modeling for uncertainty quantification and propagation in airline disruption management, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 112, 104846,
- Oxford,** (2008). *Meteorology*. Oxford Aviation Academy (UK) Limited.
- Serrano, J. J. and Kazda, A.** (2017). Airline disruption management: yesterday, today and Tomorrow, *Transportation Research Procedia*, 28, 3-10.
- Su, Y., Kexin, X., Hongjian, W., Zhe, L. and Panos, M.** (2021). Airline Disruption management: a review of models and solution methods, *Engineering*. 7(4), 435-447.
- URL 1, Cambridge Dictionary** (2021). Operation, <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/operation>, (Erişim Tarihi: 13 Eylül 2021).
- URL 2, SHGM** (2021). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, <http://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-personeli/2133-ucus-harekat-uzmani-dispecer> (13 Eylül 2021).
- URL 3, Science Direct,** (2021). Flight Phase, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/flight-phase>. (13 Eylül 2021).
- URL 4, ICAO (2017).** The Convention on International Civil Aviation. Ulaşılabilir URL: https://www.icao.int/Documents/annexes_booklet.pdf, Erişim Tarihi: 20.10.2020
- URL 5, SHGM** (2023). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/ucus_izinlerine_iliskin_el_kitabi.pdf (25 OCAK 2023).

URL 6, MGM, (2021). Havacılık Meteorolojisi Nedir? Ulaşılabilir <http://hezarfen.mgm.gov.tr/Genel/> (Erişim Tarihi: 26.01.2023)

URL 7, Skybrary (2023). Aeronautical Information Publications. Ulaşılabilir [https://www.skybrary.aero/articles/aeronautical-information-publications-aips#:~:text=An%20Aeronautical%20Information%20Publication%20\(AIP,character%20essential%20to%20air%20navigation.%20](https://www.skybrary.aero/articles/aeronautical-information-publications-aips#:~:text=An%20Aeronautical%20Information%20Publication%20(AIP,character%20essential%20to%20air%20navigation.%20) (Erişim Tarihi: 26.01.2023)

URL 8, Skybrary (2023). Notam. Ulaşılabilir <https://www.skybrary.aero/articles/notice-airmen-notam> (Erişim Tarihi: 25.01.2023)

URL 9, Skybrary (2023). Air Traffic Management (ATM). <https://skybrary.aero/articles/air-traffic-management-atm> (Erişim Tarihi: 26.01.2023).

Wen, X., vd., (2021). Airline crew scheduling: Models and algorithms, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 149, 102304,

Wu, C. L. (2009). Airline Operations and Delay Management, Burlington: Ashgate.

Araştırma Makalesi

Yeni Nesil Mobil İletişim Sistemlerinin Gemi Kara Arasındaki Deniz Haberleşmesinde Kullanım Olanakları

Tayfun Acarer*

Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Meslek Yüksek Okulu, İstanbul Bilgi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: tacarar@hotmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.1179112

Özet: Deniz araçlarının birbirleri ve karadaki ilgili kuruluşlar ile kolay, güvenilir ve her zaman iletişim temin etmesi deniz seyrüseferi için son derece önemlidir. Bu arada deniz araçlarında bulunan gemi adamlarının özel görüşmelerinin de sağlıklı bir şekilde yapılması, yine deniz aracının sevk ve idaresi açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda haberleşme teknolojilerinde ve bilişim sektöründe temin edilen olumlu gelişmeler, bu konuda pek çok alternatif haberleşme şeklini gemi yönetimlerinin ve gemi adamlarının kullanımına sunmuştur. Yeni nesil mobil iletişim teknolojileri olarak da tanımlanan söz konusu haberleşme sistemlerinin teknik yapısı, gemilerdeki zorunlu haberleşme sistemleri gibi kablosuz teknolojilere dayanmaktadır. Nesiller olarak da tanımlanan bu sistemler halen güncel yaşantımızda bireysel ve kurumsal olarak pek çok iletişim kolaylığı temin etmektedir. Bu sistemlerin gemilerdeki zorunlu telsiz sistemlerine ilave olarak, gemi - kara arasındaki haberleşmede hangi koşullarda kullanılacağına bilinmesi gemi yönetimleri ve gemiadamları için önemli bir haberleşme aracı olacaktır. Bu nedenle başta beşinci nesil mobil iletişim teknolojileri olmak üzere söz konusu yeni mobil iletişim sistemlerinin imkan ve kabiliyetlerinin bilinmesi, bu sistemlerin gemilerde farklı amaçlarda ve etkin olarak kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deniz haberleşmesi, beşinci nesil mobil sistemler, yeni nesil bilişim teknolojileri

The Possibility of Using New Generation Mobile Communication Systems in Marine Communication Between Ship and Land

Abstract: It is extremely important for maritime navigation that sea vehicles provide easy, reliable and always communication with each other and with the relevant institutions on land. In the meantime, it is of great importance that the private meetings of the seafarers in the sea vessels are carried out in a healthy manner in terms of the management and administration of the sea vessel. Positive developments in communication technologies and information sector in recent years have offered many alternative communication methods to the use of ship management and seafarers. The technical structure of these communication systems, which are also defined as new generation mobile communication technologies, is based on wireless technologies such as compulsory communication systems on ships. These systems, which are also defined as generations, still provide a lot of communication convenience in our current life, individually and institutionally. In addition to the mandatory radio systems on ships, knowing the conditions under which these systems will be used in communication between the ship and the land will be an important communication tool for ship management and seafarers. For this reason, knowing the possibilities and capabilities of these new mobile communication systems, especially the fifth generation mobile communication technologies, is of great importance in terms of using these systems effectively and for different purposes on ships.

Keywords: Marine communication, fifth generation mobile systems, new generation communication technologies

* Corresponding author.

E-mail address: tacarar@hotmail.com

ORCID: 0000-0003-2407-5552

Received 23.09.2022; accepted 13.03.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Günümüzün en hızlı gelişen sektörlerinin başında gelen Bilişim'deki gelişim halen büyük bir hızla devam etmektedir. Özellikle bu sektörün en önemli unsurlarından biri olan iletişim alanında yaşanan gelişmelerin çevresel etkileri ve sosyal yaşantımızdaki değişimleri hızla devam etmektedir. Bu sektörün kablosuz teknolojilerine ait altyapı unsurlarının boyutlarında, güç değerlerinde ve sayılarında son yıllarda büyük bir değişim yaşanmaktadır.

Bilişim altyapılarında kablosuz geniş alan ağları olarak isimlendirilen bu sistemler günümüzde Nesiller olarak tanımlanmaktadır. Bunların iletişim alt yapılarına ilişkin telsiz şebeke ekipmanlarının boyutları, elektromanyetik alan değerleri ve görüşme mesafeleri hızla değişmektedir. Bu değişimin nedeni, telsiz şebeke ekipmanlarının uç terminalleri olan Baz istasyonlarında kullanılan frekans bandlarının ve bunlara ilişkin teknolojilerde yakın süreçte büyük değişikliklerin yaşanmasıdır. Özellikle Beşinci Nesil Mobil İletişim sistemleri olarak tanımlanan ve halen bir çok ülkede kuruluş aşamasında olan sistemlerin altyapılarında kullanılacak frekans bantları bu değişimi daha da hızlandıracaktır. Çünkü 5G olarak da isimlendirilen bu sistemlerde kullanılması kararlaştırılan ve diğer nesillere oranla çok yüksek değerlerde olan frekans bantları baz istasyonlarının gerek elektromanyetik alanlarında, gerekse sayıları ve boyutlarında mevcut sistemlere oranla büyük farklılıklara yol açması kaçınılmazdır. Söz konusu değişimler hem yeni iletişim olanakları nedeniyle sosyal yaşantımızı, hem de boyutları itibarıyla içinde bulunduğumuz çevresel koşulları çok yakından ilgilendirmektedir. Tüm bu gelişmeler yakın süreçte çok daha farklı teknik ve çevresel unsurlar ile karşılaşabileceğimizi göstermektedir.

2. Deniz Haberleşmesinin Tarihsel Gelişimi

Günümüzde gemilerin emniyetli seyirleri ve yönetiminde deniz haberleşmesi çok önemli bir rol oynamaktadır. Önceleri gemilerin kaptanları aynı zamanda gemilerin de sahipleri iken, deniz haberleşmesinin gelişimi ile birlikte gemilerin sahipleri bulunmadan karadan sevk ve idaresi mümkün hale gelmiştir. Bu şekilde deniz ticaretinin ve uluslararası taşımacılık hizmetlerinin gelişimi, ancak gemiler ile uzaktan irtibatın kurulduğu deniz haberleşme sistemlerinin yaygın kullanımı sonucu gerçekleşmeye başlamıştır.

Modern anlamda deniz haberleşmesinin kullanımı ile ilgili gelişmelerin yüz yılı aşkın bir tarihi süreci bulunmaktadır. Bu süreç içinde özellikle bir çok dramatik deniz kazası yaşanmış ve bu kazalarda çok sayıda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Bu kazalar zaman içinde uluslararası örgütleri harekete geçirmiş ve bu konuda birçok yeni uluslararası regülasyonu ortaya çıkarmıştır. Özellikle haberleşmenin deniz ticaretinde can ve mal emniyeti ile ilgili işlevlerde taşıdığı önemin giderek artması, bu konudaki çalışmaları daha da hızlandırarak bir dizi düzenlemenin yapılmasına yol açmıştır.

Uluslararası düzeydeki ilk denizcilik konferanslarından biri 1904 yılında yapılmıştır. Bu konferansta telsiz haberleşmesinde kullanılacak standart bir tehlike/çağrı sinyali olarak "CQD" kodu olarak belirlenmiştir. Tehlike/Emniyet çağrıları açısından yıllarca kullanılan olan "SOS" kodu ise ilk kez 1908 yılında yapılan diğer bir uluslararası toplantıda belirlenmiştir. Daha sonra bu kod kullanılarak yapılacak çağrılar için, o tarihlerde en etkin telsiz sistemlerinden biri olan MF (Medium frequency-orta dalga) deniz telsiz telgraf haberleşmesinin "500 kHz" frekansı tahsis edilmiştir.

1959 yılında Birleşmiş Milletlere bağlı olarak yapılan ve önceki adı "Uluslararası Denizcilik İstişari Teşkilatı" (IMCO-International Maritime Consultative Organization) olan kuruluş, "Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO-International Maritime Organization) haline dönüştürülmüştür. Deniz ticaretinin hem işlevinin, hem de öneminin giderek artması zaman içinde bu kuruluşun denizde can ve mal güvenliği ile ilgili düzenlemelerin yapıldığı en önemli organizasyonlardan biri haline gelmesine yol açmıştır. Uluslararası Denizcilik Örgütü başta tehlike/emniyet haberleşmesi olmak üzere birçok uluslararası sözleşmenin dünya ülkeleri tarafından kabul edilmesinde önemli rol oynayarak uluslararası denizcilik faaliyetlerinde çok önemli rol oynamaya başlamış ve Birleşmiş Milletlerin en önemli kuruluşlarından biri haline gelmiştir.

Organizasyon yapısı hızla geliştirilen IMO, zaman içinde ilgili konularda Uluslararası Telsiz Danışma Kurulu (CCIR-International Radio Consultative Committee, yeni adıyla ITU-R), Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU-International Telecommunication Union), Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO-World Meteorological Organization) ve Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO-International Hydrographic Organization) gibi uluslararası kuruluşlar ile de ortak çalışmalar yapmaya başlamıştır.

Denizde can güvenliği amacıyla çok önemli düzenlemelerin yapıldığı ve deniz haberleşmesinin yeniden şekillendiği “Küresel Denizde Can ve Mal Emniyeti” (GMDSS-Global Maritime Distress and Safety System) mevzuatı 1979 tarihinde imzalanarak, 1982 yılında bununla ilgili geçiş süreci başlatılmıştır. GMDSS sisteminin tümüyle uygulamaya geçene kadarki süreçte yapılan en önemli uluslararası düzenlemelerin başında 1960 ve 1974 yıllarında gerçekleştirilen SOLAS Konvansiyonları gelmektedir. Buna göre tüm yolcu gemileri ile 1600 GRT üzerindeki tüm yük gemilerinde bulunması gereken başlıca teçhizatlar telsiz telgraf ve telsiz telefon, 300-1600 GRT arasındaki tüm yük gemilerinde bulunması gereken cihaz ise sadece telsiz telefon olarak belirlenmiştir.

Deniz haberleşmesinde özellikle tehlike/emniyet haberleşmesinin daha iyi standartlara yükseltilmesi amacıyla Uluslararası Telsiz Danışma Kurulu'nun (CCIR) da desteği ile 1972 yılında denizde uydu haberleşmesi ile ilgili çalışma başlatılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda 1979 yılında gemiler için uydu haberleşmesi imkanı temin eden “INMARSAT” ve daha sonra da COSPAS-SARSAT organizasyonları faaliyete geçirilmiştir. Aynı yıl “Denizde Arama ve Kurtarma 1979” Sözleşmesi kabul edilerek, kurtarma/yardım faaliyetlerinde çok önemli bir düzenleme uygulamaya konulmuştur. Yine bu gelişmeler doğrultusunda 1984 yılından itibaren 18 GRT'dan büyük gemilerde mevcut teçhizatlara ilave olarak VHF telsiz telefon cihazı da zorunlu hale gelmiştir.

1 Şubat 1992'de başlayan ve 7 yıllık geçiş süreci 1 Şubat 1999 tarihinde tamamlanarak tüm kuralları ile uygulamaya konulan GMDSS hükümlerine göre Inmarsat ve Cospas Sarsat uydu sistemlerine ilave olarak VHF, MF, HF ve NAVTEX olarak farklı frekans bantlarında kullanılan yersel (terrestrial) sistemler aracılığı ile deniz haberleşmesinde otomatik kullanım süreci başlamıştır. Söz konusu deniz haberleşme cihazlarının içinde gerek kullanım kolaylığı, gerekse GMDSS mevzuatı yükümlülükleri gereği gemilerde en yoğun kullanılan cihaz VHF'dir. Bu cihaz hem boyutları, hem de kullanımındaki basitlik nedeniyle deniz haberleşmesinde en çok kullanılan cihaz özelliği taşımaktadır.

Günümüzde teknolojiadaki gelişmelerin de etkisiyle gemi içi, gemi - kara ve gemi - gemi arasındaki sesli iletişimde kullanılan VHF cihazlarının başta internet olmak üzere elektronik posta (e-mail) ve veri (data) haberleşme platformlarında da kullanılması için IMO ve ITU tarafından düzenlemelerin yapılmasına halen devam edilmektedir.

Günümüzde gemilerin tehlike/emniyet çağrılarında yukarıda belirtilen uydu ve karasal sistemlere ilave olarak Otomatik Tanımlama Sistemi (Automatic Identification System-AIS) ve Uzak Mesafe Gemi İzleme (Long Range Identification and Tracking System-LRIT) cihazlarının da kullanılması mümkündür. Halen AIS cihazları ile gemi/gemi arasında 25 mile, gemi/kıyı arasında 50/60 mil mesafeye kadar iletişim yapılabilmektedir. LRIT sisteminde ise 76 derece kuzey/güney enlemleri arasında sefer yapan gemiler ile mesajlaşma ve iletişim mümkündür.

3. Bilişim Sektöründeki Gelişmeler

Günümüzde bilişim sektörünün hem bireysel olarak, hem de kurumsal olarak etkisinin görülmediği bir alan kalmamıştır. Çünkü bu sektörde yaşanan tüm teknolojik gelişmeler, bilişimin etkilediği diğer sektörleri de farklı ölçüde ilgilendirmektedir (Tekin, 2000, s. 101). Bunun sonucu bilişim; elektronik makineler aracılığı ile veri işlenmesini öngören ve teknik, ekonomik ve toplumsal faaliyetler ile ilgili iletişimde kullanılan bir bilim türü olarak tanımlanmaktadır (Çelik, 2010, s. 43).

Bilişim sektörü teknolojiye bağlı olduğu için günümüzde sürekli gelişim göstermektedir. Çünkü sürekli gelişen teknolojiler doğal olarak bilişim sektörünü de büyük ölçüde etkilemektedir (Özkan Y., 2018).

Bu nedenle bu sektör teknolojik gelişmeler ile birlikte büyük bir hızla gelişmekte ve tüm sektörleri de değişik oranlarda, fakat çok ciddi ölçüde etkilemektedir.

Bilişim sektörü iletişim ve içerik olarak birbirlerini tamamlayan iki farklı unsur çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın konusu nedeniyle bilişim sektörünün iletişim kısmı olan altyapılar ve bunlara ilişkin kapsama alanı (coverage) incelenmiş, içerik unsuru bu değerlendirmeye dahil edilmemiştir.

Günümüzde bilişim Sektöründe kullanılan altyapılardan ilki Sabit Erişim (Fix Access), diğeri Kablosuz Erişimdir (Wireless Access). Son yıllarda iletişim alanında ve özellikle bunu meydana getiren sabit ve mobil altyapılarda çok ciddi gelişmeler yaşanmakta olup, bu gelişmeler önümüzdeki süreçte de artarak devam etme eğilimindedir. Sabit Erişim sistemleri genelde iki farklı malzemenin tesis edilmektedir. Bunlar Bakır ve Fiber Optik kablolardır. Bu arada farklı bir yapıda bulunan koaksiyel kablo bazı kuruluşlarca farklı bir sabit erişim sistemi olarak kabul edilse de, genel kabul koaksiyel'in de bir bakır kablo türü olduğudur.

Kablosuz Erişim sistemlerinin WPAN (Wireless Personal Area Network), WLAN (Wireless Local Area Network), WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) ve WWAN (Wireless Wide Area Network) gibi türleri olmasına karşılık en çok kullanılan sistem WWAN'dır. WWAN sistemlerinin günümüzde en çok bilinen uygulamaları "Nesiller"dir. (Generation) Cep telefonu haberleşmesinde kullandığımız ikinci, üçüncü ve dördüncü nesil mobil iletişim sistemleri (nesiller) bugün güncel yaşantımızda en çok yer alan kablosuz iletişim altyapılarıdır. Halen ağırlıklı olarak dördüncü nesil mobil iletişim sistemlerini kullanmamıza karşılık, çok yakın bir süreçte beşinci nesil mobil iletişim sistemleri de güncel yaşantımıza girecektir.

3.1. Nesillerin Gelişimi

Bilişim sektöründe nesiller (generation) olarak bilinen gelişmeler güncel yaşantımızı, iş ve sosyal hayatımızı çok ciddi ölçüde ilgilendirmekte ve değiştirmektedir.

Çünkü 1983 yılında mobil telefon ile ilk görüşme yapıldığı tarihten sonra mobil telefonların güncel yaşantımızda kullanımları hızla artmıştır. Daha sonra 1994'de IBM'in akıllı telefon üretimiyle birlikte mobil telefonların kullanımında yeni bir dönem başlamıştır (Miller, 2012).

Geniş Alan Mobil İletişim sistemleri (WWAN) 1980'li yılların başında "Birinci Nesil" ile ilk kez yaşantımıza girmiştir. Oldukça büyük hacimli ve çok akım çeken bu sistemlerin mobil olarak kullanılması, ancak bunların otomobil, otobüs, TIR vb mobil araçlara tesis edilmesi ile mümkün olmuştur. Bu nedenle "Birinci Nesil" mobil iletişim sistemleri kullanıldığı dönemde "Araç Telefonu" olarak isimlendirilmiştir (Acarer T, 2021). Analog yapısı olan ve oldukça pahalı tesis ve kullanım bedeli bulunan bu sistemlerin söz konusu olumsuzluklarına rağmen oldukça talep görmesi, mobil haberleşmeye olan ihtiyacın açık bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

İlk dijital (sayısal) mobil nesil sistemleri 1990'lı yılların başında ortaya çıkan İkinci Nesil (2G) iletişim sistemleri olmuştur. Başlangıçta sadece "Ses" haberleşmesi yapılan bu sistemler ile daha sonra dar band (narrow band) mobil iletişim de yapılmaya başlanmıştır. İlerleyen süreçte hız ne kadar artsa da mobil genişbant iletişim (broadband) ancak "Üçüncü Nesil" mobil iletişim sistemleri (3G) ile uygulama olanağı bulmuştur.

2000'li yılların başında İstanbul'da yapılan WRC-2000 (World Radio Conference-2000) toplantısı ile genel esasları kabul edilen Üçüncü Nesil mobil iletişim sistemleri, farklı ülkelerde lisans bedellerinin yüksek tutulması nedeniyle 5/6 yıl uygulama olanağı bulamamıştır. Daha sonra lisans bedellerinin makul düzeye çekilmesi ile 2006 yılından sonra hızla yaygınlaşmaya başlayan Üçüncü Nesil sistemler ilk genişbant mobil sistemler olarak güncel yaşantımızda yerini almıştır. Mobil geniş bantın kullanımı ilk kez 3G sistemleri ile başlamış ve bundan sonra her yıl artarak gelişmiştir.

Özellikle 4G'nin kullanılmaya başladığı 2011 yılı sonrasında veri hızı ve miktarı çok önemli oranda artmış ve uluslararası data kullanımında önceki nesillere göre her yıl yaklaşık iki kat fazlalaşma olmuştur. Bu sistemlerin yaygınlaşması ile birlikte o zamana kadar band genişliği yetersizliği nedeniyle fazla kullanım olanağı bulamayan pek çok uygulama programı (application) mobil iletişimde de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yine bu sistem aracılığı ile yıllar içinde görüntülü haberleşme ve video konferans iletişimi de gelişmiştir. Üçüncü Nesil iletişim sistemlerinin genişbant özelliğini; kullanılan taşıyıcı frekansın bant genişliği ve dolayısı ile kanal genişliğinin artması olarak açıklamak mümkündür.

2010'lu yılların başında ortaya çıkan Dördüncü Nesil mobil iletişim sistemlerinin en önemli özelliği (4G) IP altyapısının (İnternet Protokol) kullanılmaya başlamasıdır. 2011 yılında yapılan WRC-11 toplantısı ile genel prensip ve özellikleri belirlenen bu sistemler ile çok daha geniş band genişliklerine ulaşmak ve pek çok farklı uygulamayı kullanmak mümkün hale gelmiştir. Çünkü Dördüncü Nesil mobil iletişim sistemlerinin sahip olduğu bant ve dolayısı ile kanal genişliği, o zamana kadar kullanılan mobil iletişim nesillerine oranla daha büyük boyutlara ulaşmıştır. Bunun sonucu 4. Nesil sistemlerdeki bant genişliği ve dolayısı ile buna bağlı olarak data hızında ve kapasitesindeki artış 2. Nesil sistemlere oranla en az 100 kat fazla olmuştur (Acarer, 2017).

Günümüzde giderek yaygınlaşmaya başlayan Beşinci Nesil mobil iletişim sisteminin (5G) gelişim süreci daha önce kullanılan 2G, 3G ve 4G'ye göre farklı bir yapıda olmaktadır (Türk Telekom A.Ş., 2018). Çünkü 5G hedef olarak ve mimari yapı açısından önceki nesillerden oldukça farklı bir yapıya sahip bir mobil iletişim sistemi olarak öngörülmektedir.

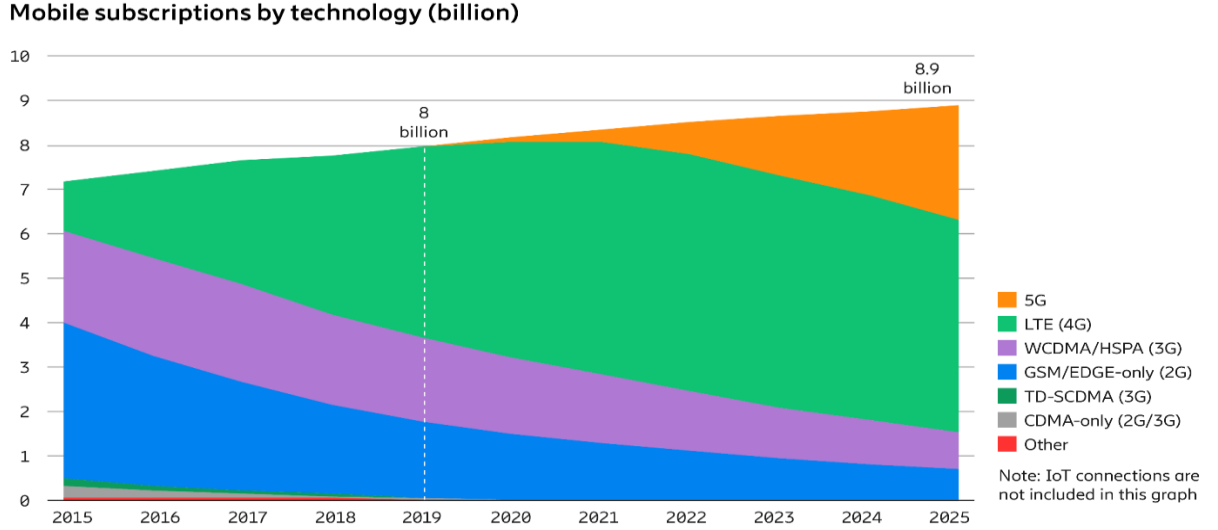
2015 yılında gerçekleştirilen WRC-2015 toplantısı ile 4G'nin ileri versiyonu olan "LTE-Advance" sisteminin prensipleri belirlenmiş ve Dördüncü Nesil mobil iletişim sistemlerinde daha ileri özelliklere geçilmiştir.

WWAN sistemlerinde yaşanan bu gelişmeler ile çok daha geniş band kullanılması ve çok daha hızlı iletişim imkanlarına kavuşulmuştur. Ayrıca "Taşıyıcı Birleştirme" (Carrier Aggregation) özelliği de kullanılmaya başlanarak bant genişliği daha da artırılarak data hızında önemli artış temin edilmiştir. Bu şekilde mobil data iletişimde daha önce kullanılan nesillerde o zamana kadar ulaşılamayan hızlar ile haberleşme yapılması ve büyük dataların gönderme (upload) ve indirme (download) yapılması mümkün hale gelmiştir.

Aşağıdaki grafikte 2015 – 2025 yılları arasında Beşinci Nesil mobil iletişim sistemleri (5G) ile ilgili öngörülen gelişim süreci gösterilmektedir (Ericson, 2019). Bu grafikten de görüldüğü üzere 2015 yılından itibaren İkinci Nesil ve Üçüncü Nesil mobil iletişim sistemlerinin abone sayılarının hızla azalacağı ve 2025 yılında bu sistemleri kullanan abone sayısının bir milyardan altına düşeceği hesaplanmaktadır.

Buna karşılık Dördüncü Nesil mobil iletişim sisteminin gelişiminin 2023 yılına kadar süreceği ve bu tarihten itibaren Beşinci Nesil mobil iletişim sisteminin gelişimi ile birlikte bu düşüş trendinin giderek hızlanacağı öngörülmektedir.

5G'deki asıl artışın ise 2023 yılından sonra olacağı ve 2025 yılı sonunda 2,5 milyar mobil abonenin beşinci nesil sistemi kullanacağı tahmin edilmektedir. Bu süreçte 5G'nin yaygınlaşmasının kademeli olarak artacağı ve üçüncü faz olarak kabul edilen 24 GHz üstü frekans bantlarının kullanılmasından sonra (ikinci aşamada 39 GHz de kullanılmaya başlayacak) 5G'de çok hızlı abone artışının yaşanacağı hesaplanmaktadır.



Şekil 1. Mobil İletişim Sistemleri Ve Beşinci Nesil (5G) İle İlgili Öngörülen Gelişim Süreci

2019 yılında gerçekleştirilen WRC-19 toplantısı Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerinin temel özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili en önemli toplantı olmasına rağmen, bu nesil ile ilgili düzenleme sürecinin önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Çünkü Beşinci Nesil mobil iletişim sistemleri ile ilgili belirlenen hedefler ve bugüne kadar bu sistem konusundaki beklentiler 5G'nin gerek mimari yapısının (architecture), gerek frekans ve kanal/band genişliklerinin diğer nesillere göre oldukça farklılık içereceğini göstermektedir. Bu nedenle önümüzdeki süreçte Beşinci Nesil mobil iletişim sistemleri ile ilgili bir çok yeni düzenlemenin yapılması kaçınılmazdır.

3.2 Nesnelerin İnterneti ve Veri Kullanımında Son Yıllardaki Büyük Artış

Günümüzde veri, “çağımızın ham maddesi” olarak tanımlanmaktadır. Bu husus Twitter, Google, Amazon ve Facebook gibi bilişim şirketlerince çok önceden beri bilinmekte ve adı geçen şirketlerin kuruluş felsefelerini meydana getirmektedir (Ege, 2013).

Son yıllarda cihazların kendi arasındaki haberleşmesi olarak bilinen “Nesnelerin İnterneti” (IoT - Internet of Things) ile ilgili gelişmeler giderek yaygınlaşmaktadır. IoT olarak da isimlendirilen bu sistemlerin çalışma prensibi tamamen kablosuz ağ teknolojileri (wireless) yapısına dayanmaktadır (S. Li, 2015).

Nesnelerin internetine ilişkin altyapı, bir birleri ile farklı haberleşme protokolleri üzerinden iletişim kuran nesnelere ait dataların toplanarak analizinin yapıldığı ve bu şekilde farklı nesnelerin kontrol edildiği bir ağdır (Arış, 2015). IoT ağında bulunan algılayıcılar ve cihazlar insan makina ve makina makine (M2M) arasında irtibat kurabilen yapılarıdır (Görkem, 2016).

Son yıllarda kablosuz iletişim sisteminin gelişmesi en çok nesnelere gelen verinin artmasına yol açmıştır. Bu artış halen de giderek artan bir oranda devam etmektedir. Çünkü kablosuz teknolojiler geliştikçe nesnelerin interneti de gelişmekte, bu durum ise veri artışını daha da fazlalaştırmaktadır. Bu arada gerek yazılım sektöründe, gerekse elektronik teknolojisindeki gelişmelerin giderek artmasıyla adreslenebilir nesne ve cihaz miktarında büyük artışlar meydana gelmiştir. Bu artışlar halen de artan bir hızla sürmektedir (Çavdar, 2017).

Günümüzde internet teknolojileri ve sosyal medya giderek yaşantımızın her alanına girmektedir. Bunların kullanımında en yoğun araç olan cep telefonları da artan oranda insanlara ait faaliyetleri üretir duruma gelmiştir (Aktan E. , 2018). Ayrıca sensörlerden ve nesnelere gelen datalar sonucu “büyük veri” kavramı ortaya çıkmıştır. Bu arada mobil platformlarda, web sitelerinde ve sosyal medyada üretilen veriler işletmeler bünyesinde yer alan datalar ile birlikte büyük veri yığınlarını ortaya çıkarmıştır (Goes, 2014).

Bunun yanında bant genişliği de, gelişen Nesiller ile birlikte hızla artmaktadır. Bu arada sosyal ağlar üzerinden yapılan mesajlaşma, yüksek çözünürlüklü video ve fotoğraf paylaşımı, mobil cihazlar aracılığı ile yapılan eğitim ve bu şekilde yüksek boyutlu öğrenim materyallerine ulaşması (Tarimer, 2010, Sayı: 3), yazılı ve sesli haberleşmede kullanılan mobil uygulamalar ve bunlar aracılığı ile oynanan çevrim içi oyunlar sonucu birçok alanda internet kullanımı giderek yoğunlaşmaktadır (Berk, (2020).

Bunun yanında mobil iletişimde kullanılan bant genişliği de, gelişen Nesiller ile birlikte hızla artmaktadır. Günümüzde veri kullanımındaki asıl artışın ise beşinci nesil sistemlerin yaygın olarak kullanımı sonucu olacağı ve bundan sonra çok daha hızlı bir artış trendi yaşanacağı hesaplanmaktadır (DataSpere, November 2018). Çünkü 5G ile birlikte bant genişliği çok büyük oranda artacağı için, bu sistemin kullanımı ile birlikte veri hem daha çok hızlanacak, hem de çok büyük oranda çoğalacaktır.

3.3. Yeni Nesil Mobil İletişim Sistemleri

3.3.1 Beşinci Nesil Mobil İletişim Sisteminin Özellikleri

Yeni nesil mobil iletişim sistemleri ve yeni nesil şebeke olarak Beşinci Nesil (5G) mobil altyapısı kabul edilmektedir. Çünkü bu altyapının gerek tamamen İnternet Protokolü (IP) özellikli olması, gerekse içerdiği büyük bant genişliği ve buna bağlı olarak büyük data transferlerini yapabilmesi 5G'nin diğer mobil iletişim nesillerinden ayıran en önemli özelliğidir.

Beşinci Nesil mobil iletişim sistemleri ile, mobil ağların ürettiği servis ve uygulamaların artan ihtiyaçlarının karşılanması ve haberleşme teknolojilerini hayatın her alanına genişleterek “her nesneye” haberleşme yeteneğinin kazandırılması hedeflenmektedir. Bunun en önemli nedeni, son yıllarda internete bağlı cihazların sayısının artmasına ve buna bağlı olarak indirilen ve gönderilen veri ihtiyacının yükselmesidir. Bugün mobil haberleşmenin kitlelere yayılması ve buna bağlı eko sistemin hızla büyümesi kullanıcı ihtiyaçlarının da giderek artmasına yol açmaktadır. Önümüzdeki süreçte mevcut veri trafiğinin çok daha fazla artacağı ve bunun yaklaşık %80'inin video olacağı hesaplanmaktadır. Bu durum, Beşinci Nesil mobil iletişim sistemine duyulan ihtiyacın en önemli gerekçesi olarak kabul edilmektedir.

Bu nedenle 5G sistemindeki hız ve gecikme süresinin beklentileri sağlaması gerekmektedir. Bu hızın ortalama 10 Gbps seviyesinde ve gecikme süresinin de 1 ms'den daha düşük değerde olması istenmektedir. Ayrıca, bu sistemin 50 milyardan fazla IoT (İnternet of Things) nesnesi ile bağlantıyı da karşılayacak kapasitede olması ve düşük hızda bağlantıyı desteklemesi de gerekmektedir. 5G sistemlerine yapılacak yatırımın uzun yıllar süreceği ve aşamalı olarak gerçekleşeceği öngörülmektedir. Çünkü Beşinci Nesil sistemlerin tesis sürecinin üç aşamada olacağı ve son aşama olan 24 GHz üzeri frekans bantlarının kullanımına kadar diğer aşamaların da zaman alacağı tahmin edilmektedir.

5G'ye dünya çapında yapılacak yatırımın toplamda trilyon doları aşacağı hesaplanmaktadır. Çünkü bu teknoloji sadece kablosuz internetle sınırlı olmayıp, temin edeceği yüksek hızlı data iletişimi nedeniyle pek çok hizmet için de kullanılacaktır. Bunların başında sosyal medya gelmekte olup, örneğin YouTube, Netflix gibi bulut sistemleri üzerinden video izlenirken, aynı anda bulut üzerinden oyun oynanabilmesi de mümkün olacaktır. Bu durum sadece sabit mekanlarda temin edilmeyecek, aynı zamanda farklı ulaşım araçlarındaki seyahatlerde de mümkün olacaktır.

Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerinin son aşaması olarak tanımlanan 24 GHz üstü frekans bantlarının kullanımına başlanıldığında, halen kullanılan LTE Advance sistemlerine oranla 1000 kat daha fazla mobil verinin işlenebileceği hesaplanmaktadır. Bunun yanında söz konusu altyapının farklı araçlar, ev eşyaları, makineler gibi hem sabit, hem de hareketli sistemlerin birbirlerine bağlanmasında dev bir omurga görevi göreceği düşünülmektedir. Genel olarak ekonomistler ve mühendisler tarafından bu gelişmelerin ekonomik devrimlere yol açacağını öne sürülürken, bunun Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerinde kullanılacak yeni teknolojiler, yeni mimariler ve yeni donanımlar ile temin edileceği savunulmaktadır.

Bu yenilikler güncel yaşantımızın her alanında Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerine ulaşılabilir olacağını ve bu sistemin başta enerji sektörü, yeni nesil sağlık sistemleri, akıllı ulaşım ve akıllı şehir sistemleri, eğitim ve eğlence gibi pek çok alanda kullanılabileceğini göstermektedir. Bu nedenle Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerindeki en önemli gelişmeleri;

- veri iletim hızında büyük bir artış,
- uçtan uca bağlantıda yaşanan gecikmenin azalması ve
- kapsamanın iyileştirilmesi

olarak özetlemek mümkündür (Çelik, 2010).

Yukarıda sayılan söz konusu iyileştirmeler, özellikle nesnelerin interneti için de büyük önem taşımaktadır. Çünkü 5G ile temin edilecek bu gelişmeler sonucunda;

- En uç noktadaki cihazların bile internete bağlanabilmesi ve bu cihazlardaki verilerin çok yüksek hızlarda alınabilmesi mümkün olabilecektir. Bu şekilde önemi giderek artan veri daha da fazlalaşacaktır.
- Yine önümüzdeki sürecin önemli konularından biri olan sürücüsüz arabalar ve akıllı ulaşım sistemlerinde (otonom sistemler) çok büyük önem taşıyan gecikme süresinin 1 milisaniyeler civarına düşürülmesi mümkün olabilecektir.
- Ayrıca etkileşimli mobil oyunlarda da büyük veri aktarımına gereksinim duyulduğu ve bu ölçüde verinin halen Dördüncü Nesil ve öncesi mobil iletişim sistemleri ile iletimi temin edilemediği için, Beşinci Nesil sistemler ile bu konuda çok ciddi çözümler temin edilebilecektir.

3.3.2. Beşinci Nesil Mobil İletişim Sistemlerinin Diğer Nesillere Göre Avantajları

Beşinci Nesil Mobil İletişim sistemlerinin en önemli özelliklerinin başında veri iletiminde ulaşılacak hız gelmektedir. Bu sistemin nihai kullanımının tamamlanması ile şebeke hızınının 10 Gigabit/sec ve üstü hızlara ulaşılması hedeflenmektedir.

Bu kadar yüksek hıza erişilmesi için bant genişliğinin mevcut nesillerdekine oranla çok daha fazla artırılması gerekmektedir. Bunun için de halen kullanılan mobil iletişim nesillerinin sahip oldukları data kapasitesinden ortalama 1000 kat fazla kapasiteye sahip olunması amaçlanmaktadır.

Bunun yanında diğer nesillere göre daha “Düşük Gecikmenin” temin edilebilmesi de diğer önemli bir hedefdir. Bu amaçla “Ağdaki gecikmelerin” 1 ms'nin altında tutulması ve “Gerçek Zamanlı Uygulamaların” gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef otonom sistemler açısından da büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca “Enerji Verimliliği” de Beşinci Nesil mobil iletişim sistemlerinin diğer önemli bir özelliğidir. 5G ile “Enerji Verimliliğinde” mevcut mobil iletişim sistemlerine oranla 1000 kat daha fazla iyileştirmelerin olması ve “pil sorunlarının iyileştirilmesi” de önemli bir amaç olarak yer almaktadır.

Yine Beşinci Nesil Mobil İletişim sistemler ile aşağıda maddelenen konularda diğer mobil iletişim sistemlerine oranla çok önemli gelişmeler temin edilebilecektir. Bu amaçla 5G şebekelerde;

- Ultra Mobil Geniş Bant (Extreme Mobile Broadband, xMBB - Büyük boyutlarda olan) dataların gönderilmesi,
- Kitle iletişim araçlarında (Massive Machine Type Communications, mMTC) – internet desteğinin sağlanması ve bu şekilde “ultra geniş bant iletişim” ortamının temin edilmesi,
- Çok güvenilir makineler arası iletişim ortamı sağlanarak (Ultra güvenilir MTC, uMTC), çok düşük gecikmelerle özel bir hizmet sınıfının temin edilmesi hedeflenmektedir.

3.3.3. Beşinci Nesil Mobil Bilişim Sistemlerinde Kullanılması Planlanan Frekans Bantları

5G'nin, mevcut 4G şebekesinden daha yüksek veri kapasitesine sahip olması planlanmaktadır. Beşinci Nesil Mobil Bilişim Sistemleri ile veri hızının saniyede 1 Gbit/sec'in çok üstüne çıkması ve kullanıcılara daha fazla kapasitede geniş bandın sağlanması hedeflenmektedir. Verilerin başlangıçta indirme hızının (download) 20 Gbit/sec'ı, yükleme hızının (upload) 10 Gbit/sec'ı aşacağı tahmin edilmektedir.

5G farklı uygulamalarla 1 GHz'den 100 GHz'e kadar olan frekans aralığında çalışacaktır. Genellikle düşük taşıyıcı frekanslarda baz istasyonu başına daha fazla kapsama alanı (makro bölgeler - macro baz istasyonları) ve daha yüksek taşıyıcı frekanslarda baz istasyonu başına sınırlı bir kapsama alanı (mikro ve pico baz istasyonları) olacaktır.

Yüksek hizmet kalitesi ve optimum güvenilirlik sağlamak için lisanslı spektrum, Beşinci Nesil Mobil Bilişim Sistemlerindeki kablosuz ağın omurgası olmaya devam edecektir. 5G'de lisanssız spektrum bantlarının iletimi daha da yüksek veri hızları sağlamak ve kapasiteyi artırmak için bir tamamlayıcı olarak kullanılacaktır.

Ayrıca 5G spektrum kullanımında;

- 1 GHz'in altındaki düşük frekans bantları,
- 1 GHz ve 6 GHz arasındaki orta frekans bantları ve
- esnek olarak mmWave olarak bilinen 24 GHz'in üzerindeki yüksek frekans

bantlarının da kullanılması hedeflenmektedir. Bu nedenle çok yüksek veri hızları ve kapasite için büyük miktarda bant genişliğine ihtiyaç duyulmaktadır.

5G ile mevcut frekans bantlarında 100 MHz, 6 GHz bandında 400 MHz, 24 GHz üstü bantlarda (24- 80 GHz ve üstü) 1000 MHz bant genişliklerinin temin edilmesi mümkün olacaktır.

Bunun için Uluslararası Haberleşme Örgütü (ITU – International Telecommunication Union) tarafından koordine edilen toplantılardan olan IMT-2020'de 6 GHz'in üzerinde bitişik genişband spektrumuna odaklanılmış ve ITU Report ITU-R M.2376'da IMT'nin 6 GHz ile 100 GHz arasındaki frekanslarda kullanılabilirliği üzerine teknik fizibilitesini yayımlamıştır (Geylani, 2016).

Ayrıca 5G'de kullanılacak frekans ihtiyacını çözmek için birden çok teknolojinin birlikte kullanılması da gerekmektedir. Bu amaçla birinci yöntem, var olan taşıyıcı frekans bantlarının verimliliğini arttırmaktır.

Diğer bir yöntem ise, 60 GHz veya 90 GHz gibi frekans bantlarının bant genişlikleri daha fazla olduğundan 5G'de mobil iletişim için bu bantları ve dolayısı ile milimetrelık dalga boyları kullanılmaktadır.

Bu arada bazı sorunların çıkması da kaçınılmazdır. Buna örnek olarak; “frekans arttıkça atmosferin zayıflatma etkisinin de artması nedeniyle bu tür yüksek frekansların uzun mesafe iletişimde kullanımının mümkün olamayacağını” söylemek mümkündür. Ayrıca yine bu tür çok yüksek frekans bantlarında gölgeleme sorunları da ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle söz konusu frekans bantlarında verici ve alıcı sistemlerin doğrudan birbirini görmesi gerekmektedir.

Yukarıda açıklanan sorunların çözümünde birden çok anten kullanılması en çok tercih edilen yöntemdir. Yani bir hattın görüşü kesilse bile, bu hat başka antenler üzerinden de desteklenebilecektir. Ayrıca kısa dalgalar nesnelerin interneti açısından oldukça umut vaat eden kullanımları ve iletişim ortamını da sunmaktadır.

ITU tarafından 5G için kullanılması planlanan Frekans Bantları aşağıda verilmiştir (Acarer T. , 2021).

- 24 - 27 GHz,
- 31 - 33 GHz,
- 37 - 40 GHz,
- 45 - 47 GHz ve
- 50 - 52 GHz ve üstü
- 66 - 76 GHz ve
- 81 - 86 GHz'dir.

3.3.4. Beşinci Nesil Sistemlerin Kullanım Takvimi

5G'nin kullanım takvimi ile ilgili farklı sistemler için aşağıdaki sürecin işleyeceği öngörülmektedir.

- Sabit kablosuz erişim için (2018 - 2019 ötesi)
- 4G ile geriye dönük çalışan geliştirilmiş mobil genişband için (2019 - 2021)
- Kitlesele M2M / IoT için (2021 - 2023)
- Ultra düşük gecikmeli IoT kritik haberleşme için (2024 - 2025)

4. Elektromanyetik Dalgalarda Frekans ve Anten Boyutu İlişkisi

Anten boyu ve dalga boyu (λ) arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Anten boyu (l) genellikle dalga boyunun ya " $1/4$ "ü veya " $1/2$ "si olarak hesaplanmakta ve birim değeri metre (m) ile ifade edilmektedir.

Dalga Boyu ise; Işık hızı (c) ile doğru, frekans ile (f) ters orantılıdır.

Işık hızı saniye'de 300.000 km.dir.

Frekans birimi; Hertz (1/sn) dir.

Buna göre Dalga Boyu $\rightarrow \lambda = c / f$ dir.

Anten Boyu ise $\rightarrow l = \lambda / 4$ veya $l = \lambda / 2$ dir.

Örnek vermek gerekirse; bir sinyal vericisinin frekansı (örneğin bir FM Radyo vericisi) 100 MHz ise bu sinyal için kullanılması gereken Anten boyu nedir?

Bu sorunun çözümü; $\lambda = c / f$, $\lambda = 300.000.000 / 100.000.000 = 3$ m

Buna göre Anten Boyu $\rightarrow l = \lambda / 4$ veya $l = \lambda / 2$ dir.

$$l = 3 / 4 = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm. veya}$$

$$l = 3 / 2 = 1,5 \text{ m} = 150 \text{ cm dir.}$$

4.1. Yeni Nesil Mobil İletişim Sistemlerinde Kullanılacak Şebeke Cihaz ve Antenlerinin Boyutları

Yukarıda yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak Beşinci Nesil mobil iletişim sisteminde kullanılacak anten boyutları bir birlerinden farklı olacaktır. 5G öncesi nesillerde kullanılan frekans bantları değer olarak bir birlerine yakın olmakla birlikte, 24 GHz ve üstü frekans bantlarının kullanılması halinde bunlara ilişkin cihaz ve anten boyutları konvensiyonel frekans bantlarına göre oldukça farklılık içerecektir. Çünkü 4'üncü madde de açıklanan frekans ve dalga boyu, dolayısı ile anten boyu ilişkisi nedeniyle, bunlara ilişkin anten boyutlarında mevcut mobil iletişim sistemlerindekiyle oranla büyük farklılıklar olması kaçınılmazdır.

Beşinci Nesil bilişim sistemlerinde kullanılacak frekanslar temelde 3 farklı bantta planlanmıştır.

Bunlar;

1 GHz bandı,

1- 6 GHz bandı,

24 GHz üstü bantlardır.

Bu frekans değerleri dikkate alınarak bunlara göre anten boyu hesabı ayrı ayrı yapılırsa;

Taşıyıcı frekans 1 GHz ise, buna ilişkin anten boyu;

$$\lambda = c / f, \quad \lambda = 300.000.000 / 1.000.000.000 = 0.3 \text{ m.} = 30 \text{ cm. dir.}$$

Buna göre 1 GHz'lik sinyale ilişkin anten boyu;

$$l = \lambda / 4 \text{ e göre: } l = 30 / 4 = 7,5 \text{ cm. dir.}$$

Anten boyu; $l = \lambda / 2$ 'e göre $\rightarrow l = 30 / 2 = 15$ cm. dir.

Beşinci Nesil Mobil iletişim sisteminde kullanılacak taşıyıcı frekans 6 GHz ise, buna ilişkin anten boyu; (Dalga Boyu) $\lambda = c / f$, $\lambda = 300.000.000 / 6.000.000.000$ $\lambda = 0.05$ m. = 5 cm. dir.

Buna göre 6 GHz'lik sinyale ilişkin anten boyu; $l = \lambda / 4$ 'e göre $\rightarrow l = 5 / 4 = 1,25$ cm. dir.
anten boyu; $l = \lambda / 2$ 'e göre $\rightarrow l = 5 / 2 = 2,5$ cm. dir.

Beşinci Nesil Mobil İletişim Sisteminde kullanılacak taşıyıcı frekans 30 GHz ise bunun anten boyu; (Dalga Boyu) $\lambda = c / f$, $\lambda = 300.000.000 / 30.000.000.000$, $\lambda = 0.01$ m. = 1 cm. dir.

Buna göre 30 GHz'lik sinyale ilişkin Anten Boyu; $l = \lambda / 4$ 'e göre $\rightarrow l = 1 / 4 = 0,25$ cm. dir.
Anten Boyu; $l = \lambda / 2$ 'e göre $\rightarrow l = 1 / 2 = 0,5$ cm. dir.

Bu hesaplamalar doğrultusunda farklı frekans bantlarına göre Beşinci Nesil Bilişim Sistemlerinde kullanılacak anten boyutları;

- 1 GHz ve altı freans bantlarında; 7,5 ile 15 cm,
- 1- 6 GHz bandı freans bantlarında; 1,25 ile 2,5 cm,
- 24 GHz üstü frekans bandında (30 GHz için) 0,25 ile 0,5 cm olacaktır.

Yukarıdaki hesaplamaları dikkate alarak Beşinci Nesil sistemlerde kullanılacak frekans bantları ilerleyen süreçlerde yaklaşık 30 GHz veya bu değerden fazla olduğu takdirde, bu hesaplama kriterlerine göre kullanılacak antenlerin boyutları da aynı oranda küçülecek ve bu değişim kullanılacak baz istasyonlarının ölçülerine de yansımacaktır. Verici sinyallerin tesis ettiği kapsama alanı (coverage) bir çok farklı etkene bağlı olmakla birlikte, kapsama alanının çapını belirleyen en önemli unsurların başında kullanılan frekans bandı gelmektedir.

Elektromanyetik dalgaların yayılma özelliği, dalga boyu ve diğer etkenler göz önüne alındığında verici sistemin gücü artıkça kapsama alanının da artması, taşıyıcı frekans bandının değeri artıkça kapsama alanının ters orantılı olarak azalması bilimsel bir kuraldır.

Bunun sonucu kablosuz sistemlerde kullanılan frekans bandının değeri yükseldikçe kapsama alanının azaldığını, tersi olarak da kullanılan frekansın azalması halinde kapsama alanının artacağını söylemek mümkündür.

Bu değerlendirmeler Beşinci Nesil bilişim sistemlerinde kullanılacak frekans değerleri dikkate alındığında 1 GHz ve 1- 6 GHz frekans bantlarında alıcı ve verici sistemlerde kullanılacak cihazların antenleri ve bunlara ilişkin kapsama alanlarında mevcut sisteme göre fazla bir değişiklik olmayacağını, buna karşılık 24 GHz üstü frekans bantları kullanıldığı takdirde bu sistemlerin antenlerinde ve bunlara ilişkin cihazların boyutlarında önemli oranda küçülme olacağını söylemek mümkündür. Bunun sonucu, 24 GHz üzeri baz istasyonlarının genelde antenleri ile bitişik olarak üretileceklerini (merge) ve antenlerin mevcut şebeke sistemindeki gibi bina çatılarına, direklerle ve minarelere ayrı olarak tesis edilmeyeceği açıktır. Bu nedenle bu frekanslardaki şebeke ekipmanlarında harici antenlerin olmayacağını söylemek mümkündür.

Anten boyutlarındaki söz konusu küçülmenin benzeri şebeke ekipmanlarında ve buna ilişkin baz istasyonlarında da yaşanacaktır. Anten boyutlarına bağlı olarak benzeri oranlarda baz istasyonlarının da boyutları ve güçleri azalacaktır. Özellikle 24 GHz üstü frekans bantlarının kullanıldığı sistemlerde baz istasyonlarının boyutları taşıyıcı frekansın büyümesi ile ters orantılı olarak azalacak ve halen kullanılan WiFi cihazlarının boyutlarından bile küçük hale gelecektir.

5G şebeke ekipmanlarında ve baz istasyonlarında yukarıda açıklanan gelişmelerin benzerleri el terminali (handset) olarak tanımlanan cep telefonu makinalarında da yaşanması kaçınılmazdır. Ancak bu

cihazların içindeki kontrol kartlarında ve elektronik devrelerinde temin edilecek bu küçülmenin cep telefonlarının kullanılan boyutlarına bire bir yansımaları olanaksızdır. Çünkü halen cep telefonlarındaki boyutu belirleyen esas unsur içindeki elektronik devrenin boyutu değil, ekranın istenilen büyüklüğüdür.

Yine yukarıda açıklandığı üzere günümüzde cep telefonları sadece ses iletişiminin yapılması amacıyla kullanılmamakta, bu cihazlar bilgisayar gibi, hatta bunda yapılamayan pek çok işlem için de kullanılmaktadır. Bunun sonucu cep telefonlarında özellikle okuma ve yazma işlevlerinin daha kolay yapılabilmesi için cihaz ekranlarının azami ölçüde büyük tutulması tercih edilmektedir.

Bu nedenle günümüzde cep telefonlarının boyutunu belirleyen etken içindeki elektronik komponentlerin ve elektronik devrenin boyutları değil, işlevsel kolaylık için ekranının büyük yapılma isteğidir.

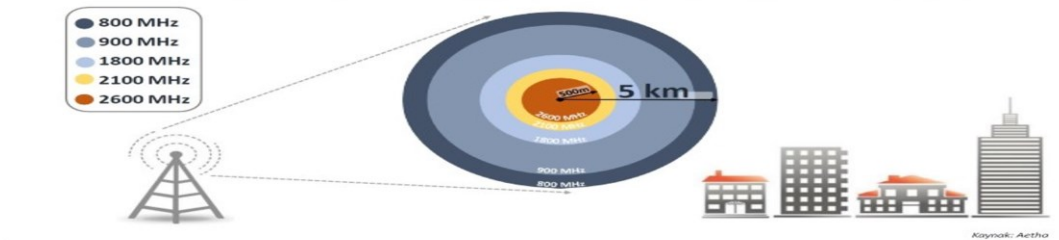
4.2. Yeni Nesil Bilişim Sistemlerinde Planlanan Baz İstasyonlarının Kapsama Alanları ve Boyutları

Bir verici sisteminin kapsama alanının başta bu sistemde kullanılan frekans bandı ile ters orantılı ve bu sistemin vericisinin gücü ile doğru orantılı olduğu yukarıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Bu kapsama alanının büyüklüğünde çevre koşulları (binalar, tepeler, çukur alanlar, vb) ve meteorolojik faktörler de etken olmakla birlikte, asıl belirleyici faktörler bu sistemin vericisinin frekansı ve gücüdür.

Bu arada yukarıda yapılan hesaplamalara göre frekans büyüdükçe dalga boyu ve buna bağlı olarak anten boyu da küçülmektedir. Bu hesaplamalar dikkate alındığında 24 GHz üstü anten boyutları da bir kaç cm düzeyinde olmaktadır.

Yine bu frekans değerlerine göre özellikle kapsama alanının da çok küçülmesi nedeniyle, kullanılacak verici sisteminin gücünün de çok düşük olması doğaldır. Aksi takdirde çok yüksek frekans değerinde ve çok dar bir kapsama alanında yüksek bir verici gücü kullanmak fizik ve elektromanyetik teknoloji kurallarına aykırıdır. Bu nedenle yüksek frekans değerlerinde düşük verici gücü kullanmanın teknik bir zorunluluk olduğunu söylemek mümkündür. Aşağıdaki grafikte farklı nesillere ilişkin frekans bantlarının kapsama alanları (yarı çap olarak) gösterilmektedir (Aetha, 2019). Bu grafiğe göre çevre ve meteorolojik koşullar da uygun olduğu takdirde 800 MHz bandında 5 km. olan kapsama alanı yarıçapı, 1800 MHz bandında yaklaşık yarıya, 2600 MHz bandında 500 m.'ye kadar düşmektedir. Bu veriler frekans bandına bağlı olarak, frekansın değerinin artış oranından çok daha fazla olarak kapsama alanının ters oranda azaldığını göstermektedir.



Şekil 2. Farklı Frekans Bantlarına İlişkin Kapsama Alanı Değerleri

Her yeni nesil bilişim sisteminde önceki nesillere göre iletişim hızının daha da artırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla kullanılan araçlardan biri, kullanılan frekansın yükseltilerek hücrelerin kapsama alanının daraltılması ve dolayısı ile kullanıcı sayısının azaltılmasıdır. Bu şekilde kullanıcı başına tahsis edilen bant genişliği daha fazla olmaktadır.

İletişim hızını artırmada kullanılan diğer yöntem, kullanılan frekans bandının genişliğini artırmaktadır. Beşinci Nesil bilişim sistemlerinde bu iki yöntemin beraberce kullanılması hedeflenmiştir.

Tüm bu fiziksel gerekçeler Beşinci Nesil bilişim sistemlerinin tesisinde üçüncü aşama olarak kabul edilen 24 GHz ve üstü frekans bantlarının kullanımında doğal olarak küçük antenli ve düşük güçlü baz istasyonlarının kullanılacağını göstermektedir.

Söz konusu frekans bandında bir alıcı / verici olarak kullanılacak baz istasyonlarının boyutları da yukarıda yapılan anten boyu ve güç hesaplamaları sonucu 1 cm'den daha az olacaktır. Kullanılan frekans değeri yükseldikçe baz istasyonlarının boyutları doğal olarak daha da küçülecektir.

Buna göre, Beşinci Nesil sistemlerde şebeke (network) ekipmanı olarak kullanılacak cihazların boyutlarının oldukça küçüleceğini, bunların antenleri ile birlikte bitişik olarak üretilecekleri ve bir kaç cm büyüklüğündeki bu ekipmanların kolaylıkla aydınlatma armatürlerinin içine, asma tavanların altına, projektör, hoparlör gibi teçhizatların içine ve yanına dikkat çekmeyecek şekilde yerleştirilmesine olanak sağlanacağını söylemek mümkündür.

5. Deniz Haberleşmesinde Kullanılan Telsiz Sistemleri

5.1. Gemilerde Bulunan Telsiz Sistemleri

Farklı tonajlarda ve değişik deniz bölgelerinde sefer yapan deniz araçlarında GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System – Küresel Denizde Tehlike ve Emniyet Sistemi) gereği farklı telsiz sistemlerinin bulundurulması zorunludur. Bunların bir kısmı “terrestrial system” olarak tanımlanan karasal haberleşme cihazları iken, bir kısmı da “satellite system” olarak çalışan uydu iletişim terminalleridir.

Çalışma şekli ve kabiliyeti açısından bir birlerinden oldukça farklılık içeren bu telsiz sistemleri ile hem gemi içi haberleşme, hem gemi / gemi ve gemi / kara arası iletişim gerçekleştirilmektedir.

Söz konusu haberleşme sistemlerini mesafelerine göre aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür.

- Kısa Mesafe Gemi Telsiz Sistemleri

En yoğun ve etkin kullanılan gemi telsiz sistemidir. Bu sistemde en çok kullanılan cihazlar ise VHF (Very High Frequency – Çok Yüksek Frekans) ve Portable VHF'dir. Ayrıca tehlike durumunda bulunan geminin çevresindeki **gemilerin radarlarına sinyal göndermede ve aktif yer tespiti amacıyla tehlike / emniyet haberleşmesinde kullanılan SART (Search and Rescue Transponder - Arama ve Kurtarma Alıcı / Vericisi)** deniz araçlarında kısa mesafe iletişim sağlayan başka bir cihazdır.

- Orta Mesafe Gemi Telsiz Sistemleri

Orta mesafede kullanılan başlıca telsiz sistemleri MF (Medium Frekans – Orta Frekans, Orta mesafe) ve Navtex'dir. (Navigational Telex – Yazılı Seyir Uyarıları mesajları) MF cihazları ile telsiz olarak hem yazılı ve sesli haberleşme yapmak, hem de data şeklinde DSC (Digital Selective Calling – Sayısal Seçmeli Çağrı) iletişim temin etmek mümkündür.

- Uzak Mesafe Gemi Telsiz Sistemleri

Bir kaç yüz mil mesafeden başlayarak okyanuslar dahil tüm dünya denizlerini kapsayan mesafeyi ifade eden uzak mesafe deniz haberleşmesinde bir çok farklı sistem kullanılmaktadır. Bunların başında yersel sistem olarak HF (High Frequency – Yüksek Frekans) cihazları ve INMARSAT uyduları üzerinden iletişim temin eden Inmarsat-C ve Inmarsat F77 gibi uydu terminalleri gelmektedir.

Ayrıca yine Inmarsat uyduları üzerinden çalışan EGC (Enhanced Group Call - Genişletilmiş Grup Çağırısı) ve Cospas-Sarsat Uyduları üzerinden çalışan EPIRB (**Emergency Position Indicating Radio Beacon - Acil Durum Lokasyon Belirten Telsiz Vericisi**) de kullanılmaktadır.

5.2. Gemi Kara Arasındaki İrtibatta Kullanılabilecek Mobil Sistemler

Yukarıda 5.1 maddesinde açıklanan gemi telsiz sistemlerinden VHF, MF, HF ve INMARSAT cihazları farklı mesafelerde bulunan gemilerin bir birleri ve kara ile irtibatlarında kullanılmaktadır.

Bu cihazlar ile telsiz olarak sesli ve telefon haberleşmesinin yanında yazılı haberleşme de yapılabilmektedir. Yine 5.1 maddesinde açıklanan cihazlardan VHF ile sadece ses ve data haberleşmesi yapılırken MF ve HF cihazları ile hem ses, hem de data ve yazılı haberleşme tesis edilebilmektedir.

Bunun yanında Inmarsat C cihazı ile Inmarsat uydu sistemi üzerinden sadece data ve yazılı haberleşme temin edilirken, Inmarsat F77 cihazı ile ses, data ve yazılı haberleşme yapılabilmektedir (Acarer T. &, 2014).

5.3. Mobil İletişim Sistemlerinin Gemi/Gemi ve Gemi/Kara Arasında Kullanılma Olanığı

GMDSS gereği deniz araçlarında bulundurulması zorunlu telsiz cihazları farklı mesafelerden gemi / gemi ve gemi / kara arası iletişim kuralabilmektedir. Bu haberleşme şeklinde kullanılan cihaza bağlı olarak telsiz telefon, data ve yazılı haberleşme yapılmaktadır.

Deniz araçlarında söz konusu cihazların türleri ve adetleri gemilerin sefer yaptıkları deniz bölgesine ve tonajlarına bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte, genelde birden fazla cihaz tüm gemilerde bulunmaktadır.

Yukarıdaki maddelerde açıklanan tüm telsiz cihazları ile genelde gemi, yük, seyir ve gemi adamları ile ilgili resmi görüşmeler yapılmaktadır. Gemi adamlarına ilişkin özel görüşmelerin de söz konusu cihazlar ile yapılması teknik ve mevzuat olarak mümkünse de, gemi adamları tarafından genelde tercih edilen yöntem liman ve kıyıya yakın alanlarda mobil cep telefonlarının kullanılmasıdır.

Bilindiği üzere mobil telefon cihazları son yıllarda günlük yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Telefon görüşmelerinin yanısıra mesajlaşma, video/resim iletimi, resmi ve özel yazışmaların yapılmasında, vb. bireysel iletişim ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılan cep telefonları aslında günümüzde mobil bilgisayarlar gibi işlev görmektedir. Bu kabiliyetteki bir sistemin deniz araçlarında kullanımındaki en önemli sorun, bunların kapsama mesafesidir. (coverage)

Yukarıda “3.1. mad.” de açıklandığı üzere halen mobil iletişimde kullanılan ve nesiller olarak (generation) olarak ifade edilen sistemlerde kullanılan frekans bantlarına göre cep telefonlarının da görüşme mesafesi değişmektedir. Bu mesafe frekans bantlarına bağlı olmakla birlikte, arada ciddi fiziksel engeller olmadığında açık alanda en fazla 3-4 km’yi aşmamaktadır. Bu nedenle deniz araçlarında bulunan bir kişinin cep telefonu aracılığı ile yapacağı mobil iletişimi içinde bulunduğu aracın kıyıda uzaklığına bağlı olduğunu söylemek mümkündür. Yani kıyıda 3-4 km uzaklıktaki bir deniz aracında bulunan mobil telefon cihazının sinyali kıyıdaki baz istasyonuna ulaşamayacağı için, buradaki kişilerin bu cihazları kullanmaları da teknik olarak olanaksızdır.

6. Tartışma ve Sonuç

Deniz araçlarında uluslararası haberleşme mevzuatı gereği (GMDSS) bulundurulması zorunlu telsiz sistemleri çok açık olarak belirlenmiştir. Bu nedenle sefer yaptıkları bölgeye ve tonajlarına bağlı olarak farklı sayıda ve özellikte telsiz haberleşme cihazları gemilere tesis edilmektedir. Bu cihazların bir kısmı gemi / gemi ve gemi / kara arasında yazılı, sesli ve data haberleşme imkanına sahip iken, bazıları sadece tehlike ve emniyet haberleşmesi yapabilme özelliği taşımaktadır.

Yine bu cihazların bazıları ile yersel sistemler (terrestrial) üzerinden kısa, orta ve uzak mesafeden farklı haberleşme şekilleri gerçekleştirilirken, bazılarıyla ise sadece uydu sistemleri (satellite system) aracılığı ile bir birleri ve karadaki birimler arasında iletişim kurulabilmektedirler.

Teknik yapısı itibarı ile kendisi de bir telsiz cihazı hüviyetinde olan yeni nesil bilişim sistemlerinin başında Beşinci Nesil mobil iletişim ve buna ilişkin altyapılar gelmektedir. Bu sistemler genelde bireysel aboneler tarafından kullanılmakta ve bunların uç terminalleri olan el cihazları (handset) ile ses iletişiminin yanında bir bilgisayarda yapılan tüm işler de fazlasıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle günümüzde cep telefonlarını küçük bilgisayarlar olarak tanımlamak mümkündür.

Halen güncel yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline gelen Yeni Nesil mobil iletişim sistemlerinin şebeke tarafında da yakın süreçte bizleri önemli değişimler beklemektedir. Özellikle Beşinci Nesil bilişim sistemlerinin ticari kullanımının başlamasıyla birlikte, günlük yaşantımızda yerini alacak olan bu sistemlere ilişkin baz istasyonlarında da gerek hacimsel gerekse de bunların kapsama alanlarında çok büyük değişimlerin olması teknik olarak kaçınılmazdır.

Bu nedenle Beşinci Nesil bilişim sistemlerinin aşamalı olarak tesisinde üçüncü aşama olarak kabul edilen 24 GHz üstü sistemlerin kullanımı sonucunda diğer mobil iletişim nesillerinde bina çatılarında, direklerin ve minarelerin üzerinde gördüğümüz büyük antenler ve bunlara ilişkin baz istasyonlarının boyutlarında (genelde direk diplerinde ve üzerinde bulunmaktadır) çok ciddi oranda azalma olacaktır. Bunun sonucu bu frekanslardaki şebeke ekipmanlarında harici antenlerin olmayacağını söylemek mümkündür.

Cihazların boyutları küçüldüğünde teknik olarak çektikleri enerji değerlerinde de azalma olacaktır. Ayrıca bu sistemlerin kapsama alanları da giderek azalacaktır. Bunun sonucu deniz araçlarında bulunan gemiadamlarının özel haberleşmelerinin gerçekleştirilmesinde halen yoğun olarak kullanılan cep telefonlarının kapsama alanları daha da azalacaktır. Bu nedenle deniz araçlarında yeni nesil mobil iletişim sistemlerinin kullanımı ancak karaya yakın yerlerde mümkün olacaktır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Referanslar

Acarer T. (2021). *Developments In The IT Sector And New Communication Opportunities For The Management Of Businesses*. Ankara: Gece Kitaplığı.

Acarer, T. & (2014). *Küresel Deniz Tehlike ve Güvenlik Sistemi*. İstanbul: Akademi Yayıncılık.

Acarer, T. (2017). *Bilgi ve İletişim Sistemlerinde Eğilim*. İstanbul: Boyut Yayıncılık ve Tic. A.Ş.

Aetha. (2019). *Farklı Frekans Bantlarına İlişkin Kapsama Alanı Değerleri*.

Aktan, E. (2018). Büyük Veri: Uygulama Alanları, Analitiği ve Güvenlik Boyutu. *Bilgi Yönetimi*, 1-22.

Arıç, A. O. (2015). Nesnelerin İnternetinde Sahte Kimlik Saldırılarının Makine Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 530-536.

Berk, M. Ö. ((2020). Mobil Cihazlar Üzerinde Enerji Verimli Sanal Sabit Numara Sistemi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi, Sayı 3*, 77-86.

Çavdar, T. v. (2017). “Nesnelerin İnterneti için Yeni bir Mimari Tasarımı. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39-48.

Çelik, A. v. (2010). *Yönetim Bilişim Sistemleri*. Ankara: Gazi Kitapevi.

DataSpere, I. G. (November 2018). *The Evolution of Data to Life-Critical*. IDC.

Ege, B. (2013). Rastlantının Bittiği Yer Big Data. *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, 22-26.

Ericson. (2019). *Nesillerin Gelişim Süreci*.

Geylani, M. Ç. (2016). Geylani, M., Çibuk, M., Çınar, H., Ağgün F., (), Geçmişten Günümüze Hücrenel Haberleşme Teknolojilerinin Gelişimi, *dergipark.org.tr*, s.618.

Goes, P. B. (2014). Big Data and IS Research. *MIS Quarterly*, 38(3), ., iii-viii.

Görkem, L. v. (2016, Sayı:13). Nesnelerin İnterneti: Yapılan Çalışmalar ve Ülkemizdeki Mevcut Durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 47 - 68.

Miller, G. (2012). The smartphone psychology manifesto. *Perspectives on Psychological Science*, 7(3), 221-237.

Özkan Y., B. U. (2018). Türkiye’de Elektronik İstihdam Platformlarında Yayımlanan Bilişim Sektörü İş İlanlarının Nitel Analizi (2017-2018). *Anemon, Journal of Social Sciences of Mus Alparslan University*, 290 - 296.

S. Li, L. D. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers, Vol. 17*, 243-259.

Tarimer, İ. Ş. (2010, Sayı: 3). Mobil İletişim Cihazları İle Öğrenim Materyallerine Erişim Sağlayan Bir Yazılım Tasarımı. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 1-6.

Tekin, P. G. (2000). Değişen Dünya'da Teknoloji Yönetimi. *Mikro Dizgi*, 101.

Türk Telekom A.Ş. (2018). *5 G Bilgi Notu*. Ankara.

Araştırma Makalesi

Togg'un pazarlama çevresinin değerlendirilmesi: PESTLE analizi

Burak Yaprak*

Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Bandırma Meslek Yüksekokulu, Bandırma Onyedi Eylül
Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

*Correspondence: byaprak@bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1255172

Özet: Küresel ticaret hacminin yaklaşık olarak %5'ini oluşturan otomotiv endüstrisi her on yılda yeni bir dönüm noktası yaşamaktadır. Otomotiv sektörünün son on yılda karşılaştığı en büyük kriz ise bütün endüstrileri ve iş modellerini de derinden etkileyen küresel iklim krizidir. Otomotiv sektörü bu krizin üstesinden gelebilmek için karbon emisyonlarını azaltmak adına motorlu taşıtların elektrifikasyonu sürecine adapte olmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak yüzyıldan daha uzun süredir yerli otomobilini üretmek için çabalayan Türkiye, 2015 yılında kurulan Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) ile bu pazarda yer almaya çalışmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, otomotiv endüstrisinin içinde bulunduğu trende ve sektörün güncel iş modellerine uygun olarak üretilecek beş farklı Togg otomobilinin makro çevre faktörlerini PESTLE analizi boyutlarıyla incelenmesidir. Politik faktörler boyutunun altında yüksek katma değerli ve milli üretim çabaları, otomotiv endüstrisine verilen önem ve kamusal müdahalelere açık ortaklık yapısı; ekonomik faktörler boyutunda istihdam olanağı, görece düşük yakıt tüketimi ve döviz kuru volatilitesi; sosyo-kültürel faktörler boyutunun altında etnosentrik tüketiciler, hedef pazar bölümünün çeşitliliği ve yeni kuşakların çevreci bilincinin artması; teknolojik faktörlerde USE CASE Mobility, veri güvenliği ve sınırlı menzil; yasal faktörler boyutunun altında GEAR 2030 ve ÖTV düzenlemeleri ve son olarak çevresel faktörler boyutunda ise daha düşük karbon salınımı ve daha düşük gürültü kirliliği unsurlarına dikkat çekilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pazarlama çevresi, otomotiv sektörü, Togg, PESTLE analizi

Assessing marketing environment for Togg: PESTLE analysis

Abstract: The automotive industry, which accounts for approximately 5% of the global trade volume, experiences a new milestone every decades. The biggest crisis that the automotive industry has faced in the last decade is the global climate crisis, which deeply affects all industries and business models. In order to overcome the climate crisis, the automotive industry adapts to the electrification of motor vehicles in order to reduce carbon emissions. In parallel with these progression, Türkiye, which has been striving to produce its domestic automobile for more than a century, is trying to take its place in this market with Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG), which was established in 2015. The main purpose of this study is to examine the macro-environmental factors of five different Togg model, which will be produced in accordance with the trend of the automotive industry and the current business models of the industry, with PESTLE analysis dimensions. High value-added and national production efforts under the dimension of political factors, the importance given to the automotive industry and the partnership structure open to public interventions; employment opportunities, relatively low fuel consumption and exchange rate volatility in economic factors; ethnocentric consumers under the socio-cultural factors dimension, diversity of target market segment and increasing environmental awareness of new generations; USE CASE Mobility, data security and limited range in technological factors; GEAR 2030 and SCT regulations under the legal factors dimension, and finally, lower carbon emissions and lower noise pollution factors in the environmental factors.

Keywords: Marketing environment, automotive industry, Togg, PESTLE analysis

* Corresponding author.

E-mail address: byaprak@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0001-9831-0813

Received 23.02.2023; accepted 13.03.2023

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

18 Nisan 1977’de Amerika Birleşik Devletleri’nin 39. Başkanı James Earl Carter Jr., bilinen adıyla Jimmy Carter, Amerikan halkına seslendiği konuşmasına “İyi akşamlar, bu akşam sizinle tarihimizde benzeri görülmemiş bir sorun hakkında nahoş bir konuşma yapmak istiyorum” diyerek başlamıştı. Carter’ın nahoş (unpleasant) konuşması temelde enerji sorunuyla ilgiliydi. Carter’ın seslenişinin arka plandaki amacı Vietnam Savaşı ve Watergate skandalı gibi olaylar üzerinden Amerikan kurumlarına olan güveni yeniden tesis etmek olsa da başkan tarafından itiraf edilen durum aslında fosil yakıtların arzının azalmasından kaynaklanan petrol krizi idi (Krieg, 2017). Carter tarafından itiraf edilen bu petrol krizi, sonraki yıllarda çarpan etkisiyle başta ABD olmak üzere birçok dünya ülkesini ekonomik, politik ve sosyal açıdan felaketlere sürüklemiştir. Carter tarafından itiraf edilen enerji krizi, spesifik olarak, “Amerikan rüyasının” en önemli sembollerinden birisi olan (Deneen, 2002) büyük motor hacmine sahip yüksek performanslı araçların (muscle cars) kullanımının azaltılması anlamına gelmekteydi. Amerikan endüstrisi açısından kendisini kriz olarak gösteren bu gerçeklik, Japon endüstrisi için ise büyük bir fırsat anlamına gelmekteydi. Zira Japonya menşeli Toyota ve Honda gibi markalar Amerikan üretimi otomobillere göre genellikle daha küçük motor hacmi ve dolayısıyla daha düşük miktarda fosil yakıt tüketimi vaad etmekteydi.

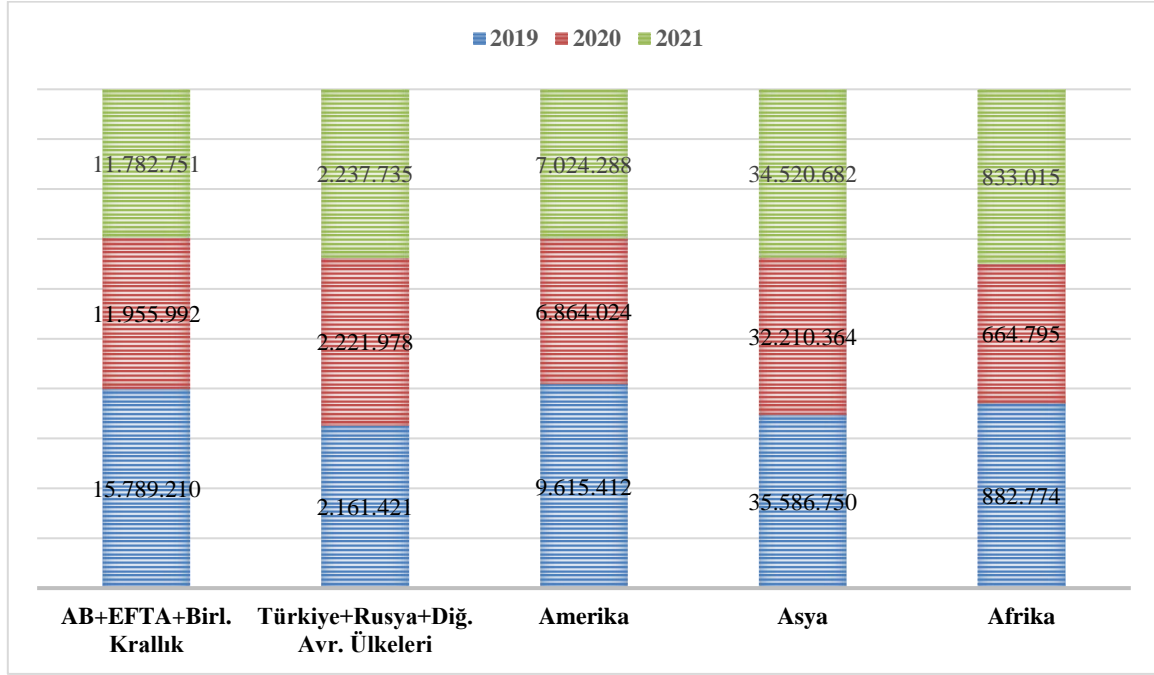
Günümüzde başta G-8 ülkeleri olmak üzere birçok ülke tükettiği fosil enerji kaynakları miktarı ile ürettiği fosil kaynak arasındaki “metabolik yarığı” büyük ölçüde kapatmış gibi görünse de son birkaç on yıldır başka bir kriz karşımızda durmaktadır: küresel iklim krizi. Arzda meydana gelen daralma nedeniyle enerji krizini, otomobillerin motor hacmini ve fosil yakıt tüketim miktarını düşürmek gibi palyatif çözümler ile geçici olarak çözen dünya ülkeleri, mevcut krizin ortak ve sürdürülebilir planlar aracılığıyla üstesinden gelmeye çalışmaktadır (Clark ve York,2005). Uluslar üstü düzeyde Birleşmiş Millet Çatısı altında ilk kez 1992 yılında toplanan Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı ile başlayan emisyon azaltma çabaları, 2015’te yapılan Paris İklim Anlaşması ile birkaç adım öteye taşınmıştır. 1977 yılında Carter tarafından itiraf edilen enerji krizinin Japon endüstrisi için bir fırsat olduğu gibi bugün karşılaşılan iklim krizi de otomotiv endüstrisi için fırsatlar sunmaktadır. İklim krizi, otomotiv endüstrisinin de içinde olduğu birçok sektörün iş planlarını, iş modellerini, üretim modellerini ve hatta ürünlerini değiştirmesi hususunda zorlamaktadır. Otomotiv endüstrisinin paydaşları karbon emisyonunu azaltmak adına üretim tesislerinde ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmeye başladığı gibi nihai ürünleri olan otomobillerin ve diğer vasıtaların enerji ihtiyaçlarını kısmen (hibrid) ya da tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabileceği şekilde yeniden dizayn etmektedir. Öyle ki, Statista (2023) raporuna göre bugün piyasada toplamda yaklaşık 8 milyon adet olan elektrikli veya hibrit otomobillerin sayısının 2027 yılında 16 milyonu aşması beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 1950’li yıllardan itibaren birçok kez yerli otomobil üretme girişimleri olan Türkiye’nin 2011 yılında “Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu” (TOGG) ismiyle duyurduğu çevre dostu otomobiller makro çevresel faktörler açısından ele alınmaktadır. Türkiye’nin Togg markasını yaratmasının arkasındaki motivasyon ekolojik endişelerden daha fazlası olduğu için bu araştırmada, ürünlerin ya da organizasyonların politik, ekonomik, sosyo-kültürel, teknolojik, yasal ve çevresel açıdan incelendiği PESTLE analizi kullanılmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında, otomotiv endüstrisinin görünümüne yer verilmekte iken ikinci kısımda tarihsel olarak Türkiye’nin otomobil üretme girişimlerine yer verilmektedir. Çalışmanın üçüncü kısmında ise yerli otomobil projesi Togg’un PESTLE analizine yer verilmektedir.

2. Otomotiv endüstrisinin genel görünümü ve Togg’un gelişimi

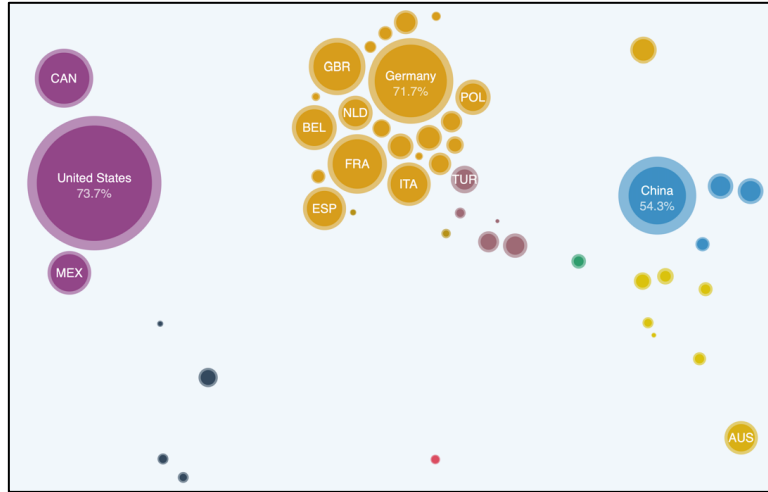
Sermaye yoğun bir endüstri olmasına rağmen sağladığı istihdam ile ekonomik kalkınmanın başat aktörlerinden birisi olan otomotiv sektörü, Karl Benz tarafından ilk motorlu aracın piyasaya sürüldüğü 1886 yılından itibaren her on yılda bir yeni bir dönüm noktasıyla karşılaşmaktadır (HaddadPajough, 2021). Son birkaç on yılda fosil yakıt tüketiminin azaltılmasını amaçlayan elektrifikasyon, nesnelere interneti ve otonom sürüş teknolojilerine adapte olmaya çalışan otomotiv endüstrisi (Yaprak, 2022) yaklaşık 3 trilyon Amerikan doları ticaret hacmi ile (Statista, 2022a) dünya ticaretinin %5’ini oluşturmaktadır. 2021 yılında dünya genelinde toplamda 57 milyonu binek 23 milyonu ise ticari araç olmak üzere toplamda 80 milyon araç üreten (OICA, 2022a) otomotiv endüstrisi hem bölge ekonomileri

hem de ülke ekonomileri için önemli bir gelir kaynağı konumundadır. Şekil 1’de bölgelere göre motorlu taşıt satış rakamları gösterilmektedir.



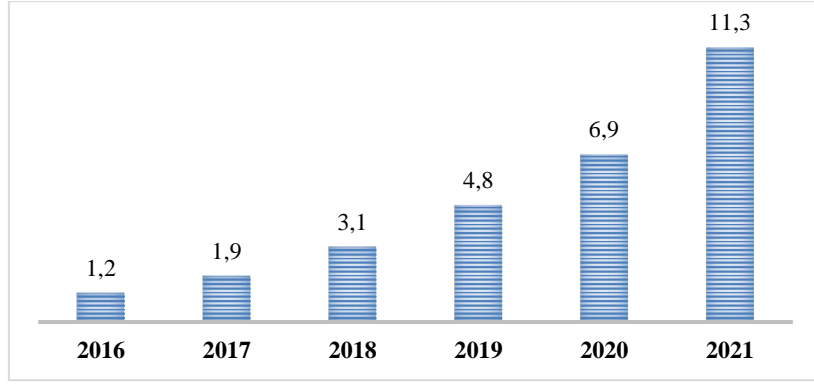
Şekil 1. Bölgelere göre motorlu taşıt satışları (OICA, 2022b).

Otomotiv endüstrisi satış yoluyla bölge ekonomilerine katkı sağlamanın yanında ihracat yoluyla tekil olarak ülke ekonomileri için de büyük bir önem arz etmektedir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) tarafından otomotiv endüstrisi için hazırlanan rapora göre, toplam otomotiv üretiminin (nihai ürün ve/veya yedek parça) yaklaşık %90’ı hacme göre farklı coğrafyalarda bölgeselleşmiş otomotiv hubları kurularak yapılmaktadır (Lejarraga vd., 2016). Şekil 2’de bölgeselleşmiş hubların ihracat hacimleri gösterilmektedir.



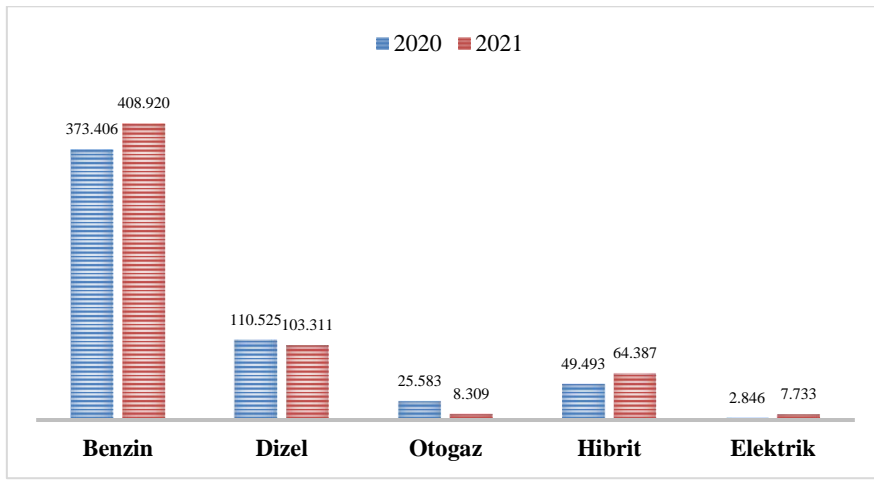
Şekil 2. Kapasitelerine göre otomotiv sektörü ihracat dağılımı (Trademap, 2023).

Şekil 2’de gösterilen verilere göre, ihracat potansiyeli açısından Türkiye 29 milyar Amerikan doları ile 14. sırada yer alırken ve gerçekleşen ihracat açısından ise 18 milyar Amerikan doları 19. sırada yer almaktadır (Trademap, 2023). Öte yandan, otomotiv endüstrisi açısından özellikle son on yılda giderek önem kazanan ve bu çalışma kapsamında da ele alınan Togg otomobillerinin yer aldığı elektrikli araç kategorisine dahil edilen taşıtların yıllara göre sayıları Şekil 3’te gösterilmektedir.



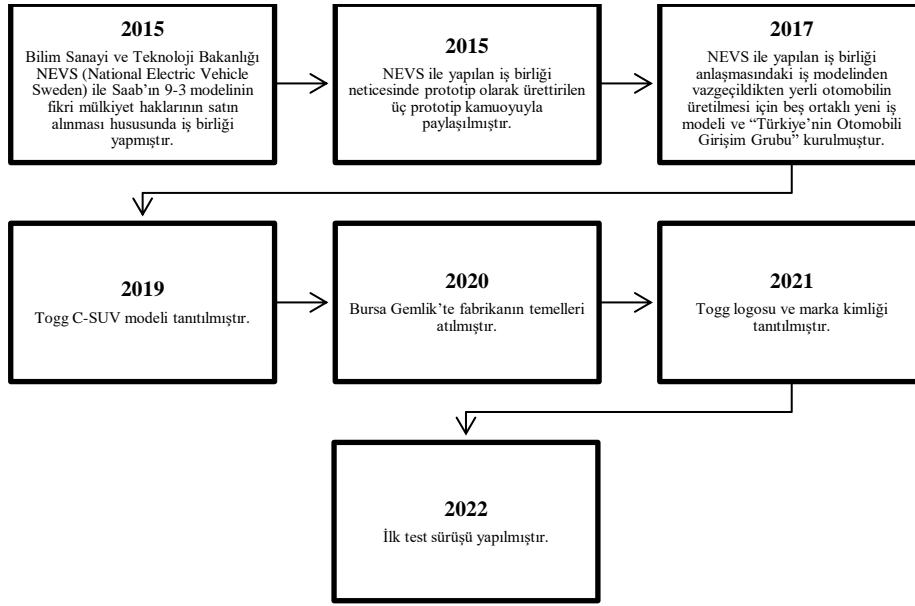
Şekil 3. Dünya genelinde elektrikli araç sayısı (Statista, 2022b).

Şekil 3'ten dünya genelinde bataryalı elektrikli araçların sayısının beş yılda yaklaşık olarak 10 kat arttığı görülmektedir. Şekil 4 ise Türkiye'deki kullanıcıların motor tipine göre satın aldığı araç sayılarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 4. Türkiye'de yakıt tipine göre araç satışları (ODMD, 2022).

Türkiye'nin yerli otomobil üretme çabaları 19. yüzyılın sonlarına, Osmanlı dönemine kadar dayanmaktadır. Ancak sonuç veren ilk girişimler 1960 yılında kapanan Gümüş Motor Fabrikası, 1961 yılında üretilen Devrim ve 1966 yılında ilk kez seri üretilen Anadolu markasıdır. Günümüzde ise Türkiye, adını Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu akroniminden alan Togg markalı otomobilleri piyasaya sürmeye hazırlanmaktadır. Hazırlık aşamasından ilk aracın banttan indirilmesine değin Togg'un attığı adımlar Şekil 5'te özetlenmektedir.



Şekil 5. Togg'un adımları.

Türk kültür öğelerine de atıf yapılarak tasarlanan Togg'un 2030 yılına kadar elektrikli, akıllı ve bağlantılı C-SUV, C-Hatchback, C-MPV, C-Sedan ve B- SUV tipi beş otomobili üretmesi öngörülmektedir.

3. Materyal ve yöntem

İlk olarak, Fahey ve Narayanan (1986) tarafından politik, ekonomik, sosyal ve teknolojik çevre boyutlarıyla çerçeveselendirilen PEST (Political, Economic, Social, Technological) analizi bir marka, işletme, iş birimi veya yeni bir girişimin dış çevre faktörlerinin analiz edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Geçmiş yıllarda bazı araştırmacılar tarafından (Zhu vd., 2015; İslam ve Mamun, 2017; Kırar ve Olgun, 2023) SWOT ya da Türkçe kısaltmasıyla GZFT analiziyle birlikte de kullanılan PEST analizi durumlara, organizasyonlara ya da girişimlere güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler şeklinde genelleştirilmiş kategoriler ile yaklaşan SWOT analizinden her bir çevresel faktöre ayrı ayrı yaklaşması yönüyle farklılaşmaktadır (Basu, 2004). Dört boyutun dahil olduğu PEST analizinin varyasyonları ise yasal (legal) ve çevresel (environmental) bileşenlerin dahil edildiği PESTLE; etik (ethics) boyutunun eklenerek kurumsal sosyal sorumluluk perspektifinin de dahil edildiği STEEPLE ve son olarak demografik faktörleri (demographic factors) de ekleyen STEEPLED'dir (Sammuto-Bonucci ve Galea, 2015). Bu çalışmada, Togg otomobillerinin makro çevre unsurlarının irdelenmesi amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan PESTLE analizi kullanılmaktadır.

PESTLE analizi, bir iş veya başka bir varlık türü üzerindeki dış etkileri anlamak için stratejik bir çerçeve sağlayan, stratejik iş planlamasının analitik bir aracıdır. Kuruluşlar tarafından dış çevrenin bir proje veya ürün üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır (Christodoulou ve Cullinane, 2019). PESTLE analizi siyasi, ekonomik, sosyal, teknolojik, yasal ve çevresel boyutlar gibi boyutlar ile çeşitli faktör kategorilerinde kümelenmektedir. PESTLE analizinde yer alan boyutlar kısaca şu şekilde tanımlanabilmektedir (Sammuto-Bonucci ve Galea, 2015; Rastogi ve Trivedi, 2016; Ayran Cihan, 2017; Ulubeyli ve Kazancı, 2018; Debnath vd., 2021):

- **Politik:** Siyasi faktörler esas olarak devlet kurumlarını, hükümetleri ve politikalarıyla ilgilidir. Vergilendirme, çalışma ve çevre mevzuatı dikkate alınması gereken faktörlerdir. Ticari kısıtlamalar ve siyasi istikrar da bir işletmenin başarısını veya başarısızlığını belirleyebilecek zorunlu faktörlerdir.
- **Ekonomik:** Endüstri gelişimini ortaklaşa etkileyen makro ve mikro ekonomik unsurlarla ilgilidir. Küresel ekonomik durum, ticari döngüler, enerji ve üretim maliyetleri, büyüme, döviz kurları, işsizlik ve faiz oranları başlıca ekonomik göstergelerdir.

- **Sosyo-Kültürel:** Demografi, yaşam tarzı faktörleri, gelir dağılımı, normlar ve kültürle ilgilidir. Tüketici eğilimleri, çalışma modelleri ve tutumları, zevkler ve tercihler, eğitim seviyesi ve nüfus artış hızı gibi faktörler sosyal boyutun önemli unsurlarıdır.
- **Teknolojik:** Teknolojik faktörler, çeşitli tekniklerin uygulama koşullarını ve uluslararası etkiler, bilgi teknolojisindeki değişiklikler ve teknoloji alım oranları gibi teknoloji geliştirme eğilimlerle ilgilidir. Yenilikçi teknolojilere yönelik teşvikler, Ar-Ge çabaları ve teknoloji adaptasyonu temel göstergelerdir.
- **Yasal:** Vergi politikaları, istihdam yasaları, endüstri düzenlemeleri, iş sağlığı ve güvenlik düzenlemeleriyle sınırlı olmamak üzere düzenleyici ve politika etkileriyle ilgilidir.
- **Çevresel:** Çevre faktörleri, hava durumu, iklim ve iklim değişikliği gibi ekolojik ve çevresel yönlerle ilgili düzenlemeleri ve kısıtlamalarıyla ilgilidir.

4. Bulgular

Araştırma kapsamında yapılan doküman ve literatür taramalarından hareketle Togg'un PESTLE analizinin her bir boyutuna ilişkin öne çıkan unsurlar Şekil 6'da özetlenmekte ve devam eden kısımda konu başlıklarının her birine ilişkin bulgulara yer verilmektedir.

Politik	Ekonomik	Sosyo-Kültürel
<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek katma değerli ve milli üretim çabaları -Otomotiv endüstrisine verilen önem - Kamusal müdahalelere açık ortaklık yapısı 	<ul style="list-style-type: none"> - İstihdam olanağı - Görece düşük yakıt tüketimi - Döviz kuru volatilitesi 	<ul style="list-style-type: none"> - Etnosentrik tüketiciler - Hedef pazar bölümünün çeşitliliği - Yeni kuşakların çevreci bilincinin artması
Teknolojik	Yasal	Çevresel
<ul style="list-style-type: none"> - USE CASE Mobility - Veri güvenliği - Sınırlı menzil 	<ul style="list-style-type: none"> - GEAR 2030 - ÖTV düzenlemeleri 	<ul style="list-style-type: none"> - Daha düşük karbon salınımı - Daha düşük gürültü kirliliği

Şekil 5. Togg'un PESTLE analizi bulguları.

4.1. Politik Faktörler

- **Yüksek katma değerli ve milli üretim çabaları:** 2019 yılında Türkiye'de üretilen otomobillerin yerlilik oranları üreticilere göre %18 ile %63 arasında değişirken (Demir, 2020) 2022 yılında üretilen otomobil modeline göre bu oran %7 ile %83,40 arasında değişmekte ve Türkiye'de otomotiv sektöründe yerli katkı payı oranı ortalaması %55,96'dır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2022). Otomotiv sektöründeki yerlilik oranı artmış olsa da 21 Aralık 2021 tarihinde de jure olarak ilan edilen ve temelde yüksek katma değerli üretim, liralasma ve ihracat odaklı büyümeyi benimseyen Türkiye Ekonomi Modeli'nin (Bağış, 2022) hedeflerine uzaktır. Piyasaya ilk sürülecek Togg C-SUV modelinin 2026 yılında %65'e ulaşması beklenen yerlilik oranının başlangıçta %51 düzeyinde olması planlanmaktadır (Anadolu Ajansı, 2022).

- *Otomotiv endüstrisine verilen önem:* 2019-2023 dönemini kapsayan Türkiye Cumhuriyeti On Birinci Kalkınma Planı'na göre "Yüksek teknolojiye dayalı yerli marka araç üretimi ile rekabet gücü yüksek tedarik sanayiinin geliştirilerek uluslararası pazar payının artırılması temel amaçtır" (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).
- *Kamusal müdahalelere açık ortaklık yapısı:* Fikri mülkiyeti Türkiye'ye ait olan TOGG 25 Haziran 2018 tarihinde Anadolu Grubu Holding A.Ş., BMC Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş., Zorlu Holding A.Ş.'nin ve Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) olmak üzere beş paydaşın ortak girişimi olarak kurulmuştur. %23 paya sahip dört paydaşının özel şirket olmasına rağmen %8 paya sahip TOBB, tüzel kişiliğe sahip kamu kurumu niteliğinde meslek üst kuruluşudur (Yerlikaya, 2015).

4.2. Ekonomik Faktörler

- *İstihdam olanağı:* Bursa'nın Gemlik ilçesinde kurulan Togg üretim tesisinin tam kapasiteyle faaliyet gösterdiğinde yaklaşık 4300 kişiye doğrudan istihdam sağlaması beklenirken Çin menşeli Farasis markasıyla yapılan iş birliği neticesinde pil fabrikasında ise yaklaşık 2000 kişiye doğrudan istihdam sağlanması planlanmaktadır. Tedarikçiler ve aracı kuruluşlar da göz önüne alındığında 20.000'i dolaylı olmak üzere Togg'un toplam 26.000'den fazla kişiye iş imkânı sağlaması öngörülmektedir (GTSO, 2020; Anadolu Ajansı, 2021).
- *Görece düşük yakıt tüketimi:* 2000 yılında ham petrolün varil fiyatı 27.6 Amerikan doları iken 2022 yılı itibariyle yaklaşık üç kat artarak 102.97 Amerikan doları seviyesine gelmiştir (Statista, 2023b). 1.6 litre motor hacmine sahip Togg C-SUV modeli yaklaşık 445 kilometre olan Ankara-İstanbul arasını 321 TL maliyetle kat edebilirken yine 1.6 litre motor hacmine sahip benzinli bir SUV araç ise 716 TL yakıt maliyetiyle kat etmektedir (Aka, 2022).
- *Döviz kuru volatilitesi:* Togg araçlarının en az %51'inin yerli üretim olması planlansa da bazı ekipman ya da parça ihtiyacının ithalat yoluyla giderilmesi gerekliliği döviz kurlarının volatilitesi ile yakından ilgilidir.

4.3. Sosyo-Kültürel Faktörler

- *Etnosentrik tüketiciler:* "Türkiye'nin otomobili" mottosuyla duyurulan Togg, yabancı menşeli ithal ürünlerin -varsa- yerli ikamelerini tercih eden etnosentrik tüketicilere ulaşabilme potansiyeli taşımaktadır. Zira Yılmaz vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada katılımcıların %89'4'ünün "Başka ülkelerin bize otomobil satarak zengin olmalarına izin vermek yerine, Türk üretimi yerli otomobil satın alınması" yargısına katıldığı öngörülmektedir.
- *Hedef pazar bölümünün çeşitliliği:* 2030 yılına dek C-SUV, C-Sedan, C-Hatchback, B-SUV ve C-MPV modellerini piyasaya sürmeyi hedefleyen Togg'un (Papuççıyan, 2022) farklı istek ve beklentilere sahip pazar bölümlerine hitap etmesi öngörülmektedir.
- *Yeni kuşakların çevreci bilincinin artması:* Temelde sosyal sorumluluk ve çevreye uyum motivasyonları tarafından yönlendirilen yeşil satın alma veya çevreci satın alma davranışı (Ecevit, 2018) yeni nesil tüketicilerde daha sık görülen bir satın alma davranışıdır (Nguyen vd., 2018). Çevre dostu olması yönüyle Togg otomobillerinin yeni kuşak tüketicilerin dikkatini cezbedeceği öngörülmektedir.

4.4. Teknolojik Faktörler

- *USE CASE Mobility:* Togg, Kullanıcı odaklı, akıllı, empatik, bağlantılı, otonom (Seviye 3), paylaşımlı ve elektrikli mobilite deneyimi vaat etmektedir (Togg, 2023).
- *Veri güvenliği:* 2021 yılında 19 yaşındaki bir "hacker"ın pazar lideri TESLA'ya ait araçların işletim sistemlerine sızması ve araçların kontrolünü ele geçirmesi, başta tam otonom vasıta teknolojilerine yatırım yapan oyuncular olmak üzere otomotiv endüstrisinin tüm paydaşlarında birtakım endişelere neden olmuştu (Kay, 2022). CES 2022'de duyurulan iş birliği anlaşmasına göre, Avalanche adlı halka açık blok zinciri geliştiricisi Ava Labs ve Togg, uçtan uca akıllı kontratlar aracılığıyla USECASE Mobility'nin bir parçası olarak güvenli ve hızlı mobilite sağlamayı planlamaktadır (Togg, 2022).

- *Sınırlı menzil*: Kullanılacak elektronik batarya yönetim sistemi Togg otomobillerinin yaklaşık 30 dakika içerisinde şarj edilebilen iki farklı bataryası ile sürüş stiline göre en fazla 500 kilometre yol kat etmesi planlanmaktadır (Yılmaz vd., 2022).

4.5. Yasal Faktörler

- *GEAR 2030*: Türkiye'nin 1996 yılından bu yana Gümrük Birliği ilişkisinde olduğu Avrupa Birliği, 19 Ekim 2015'te Avrupa Komisyonu denetiminde 2017 yılında "AB Otomotiv Sanayii Rekabet Gücü ve Sürdürülebilir Büyüme GEAR 2030 Raporu" yayımlamış ve otomotiv endüstrisi hakkında bir dizi karar almıştır. Raporda Togg'u doğrudan ilgilendiren kararlar, iklim hedeflerine ulaşabilmek için emisyonu azaltıcı tedbirlerin alınması ve otonom ve bağlantılı taşıtlar konusunda tüm paydaşların ortak bir strateji oluşturmasıdır (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023).
- *ÖTV düzenlemeleri*: 2022 yılında yapılan Özel Tüketim Vergisi değişikliğine göre motor gücü 160 kW'dan az olan ve ÖTV matrahı 700.000 TL'nin altındaki elektrikli ve hibrit araçlar için ÖTV oranı %10 olarak güncellendi. Bu vergi düzenlemesi Togg C-SUV modelini de kapsamakta ve iç pazardaki ithal otomobillerle rekabetinde avantaj sağlamaktadır.

4.6. Çevresel Faktörler

- *Daha düşük karbon salınımı*: Tam elektrikli bir otomobilin üretim sürecinde toplamda 17-19 ton karbon salınımı gerçekleşirken fosil yakıtlarla tahriklenen bir aracın üretiminde ise toplamda 7-10 ton arasında karbon doğaya salınmaktadır. Buna karşın aynı motor hacmine sahip geleneksel bir otomobil kullanım süresi boyunca 37 ton karbon salınımına neden olurken tam elektrikli bir otomobil ise sifıra yakın karbon salınımına neden olmaktadır (Doğan, 2020).
- *Daha düşük gürültü kirliliği*: Şehirlerarası bir yolda yaklaşık 110 km/saat (70 mil/saat) hızla hareket eden fosil yakıtla tahriklenen bir araç ortalama 89 desibel gürültü çıkarmaktadır. Bu düzey iki kişinin karşılıklı bağırarak konuşmasıyla eşdeğerdir. Öte yandan elektrikli otomobiller ise gürültü ve titreşim üreten içten yanmalı motorlara sahip olmadıkları için sifıra yakın gürültüye sebep olmaktadır. Hatta Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi yayaların kendilerine yaklaşmakta olan elektrikli araçları duymasını sağlamak için bu araçların yaklaşık 50 km/saat (30,6 mil/saat) hızla hareket ederken 43 ila 64 desibel arasında değişen sesler yaymasını şart koşmaktadır (Walker, 2022).

5. Sonuç ve tartışma

Gümüş Motor Fabrikası ve Devrim'den bu yana Türkiye'nin yerli otomobilini üretmesinin arkasındaki temel motivasyon rekabetçi küresel pazardan pay alabilme "politikası" gibi görünse de aslında yerli otomobilin üretilmesinin altında politik sebeplerden daha fazlası yatmaktadır. Yalnızca otomotiv endüstrisinde değil, imalattan hizmet sektörüne kadar bütün sektörlerde bu sebepleri ortaya çıkarabilmek için mikro ve makro çevre faktörlerinin ya da zorlayıcı güçlerin tespit edilmesi gerekmektedir. İlk bakışta, söz gelimi, pazar ve tüketici profiline değişmesi, rekabet koşullarının değişmesi veya uluslararası ya da uluslar üstü regülasyonların sürekli bir biçimde güncellenmesi gibi sebepler sayılabilir de bu sebepleri ve motivasyonları bilimsel açıdan değerlendirmek gerektiği düşünülmektedir. Boşluk analizi, GZTF analizi, Porter'ın Beş Güç Modeli veya PESTLE analizi gibi yöntemler bir iş modelinin çevre faktörlerini değerlendirebilmek için önemli araçlardır. Bu çalışma kapsamında da Türkiye'nin yerli otomobil üretme girişimi olan Togg, PESTLE analizi boyutları yoluyla değerlendirilmiştir. Togg otomobillerinin henüz pazara sürülmemiş olması nedeniyle son kullanıcı deneyimlerinin kısıtlı olmasına ve Togg otomobilleri gerçek rekabet ortamını henüz deneyimlememiş olmasına rağmen bu çalışmada Togg markasının vaatlerine dayanan analizlere yer verilmiştir.

PESTLE analizi sonuçlarına göre, Togg otomobillerinin pazarda karşılaşabileceği çeşitli avantajlarınınve dezavantajlarının olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, politik faktörler arasında yer alan "kamusal müdahalelere açık ortaklık yapısı" Togg için bir dezavantaj olarak görünse de özellikle On Birinci Kalkınma Planı'nda (2019-2023) otomotiv endüstrisine verilen kamusal önemin artması ise önemli bir avantaj olarak göze çarpmaktadır. Benzer durum ekonomik faktörler arasında da tespit edilmiştir. Söz gelimi, Togg üretim fabrikası doğrudan ve dolaylı toplamda yaklaşık 25.000 kişiye

istihdam sağlayabilecek düzeyde ekonomik bir güce sahip iken küresel belirsizlik ortamında oynak döviz kurlarının volatilitesi ise -bazı ekipman ve parçalarının ithal olması nedeniyle- Togg açısından zorlayıcı bir güç olarak görüldüğü ifade edilebilir. Küresel pazar koşullarından -en azından üretimden az düzeyde etkilenmesi için Togg'un üretiminde kullanılan yerli ekipmanlar ve parçalar ve dolayısıyla yerlilik oranının artırılması gerekmektedir. Öte yandan, pazarlama karması unsurlarının her biri piyasaya nüfuz etmeden önce daha açık bir biçimde potansiyel kullanıcılara iletilmesi gerektiği düşünülmektedir. Örneğin, Togg'un konumlandırması "otonom ve akıllı", "çevreci" ya da "otonom, akıllı ve çevreci" şeklinde mi olacağını daha açık bir biçimde ifade edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Buna benzer belirsiz durumların netleştirilmesi adına, gelecek yıllarda araştırmacıların makro çevre faktörlerinin ve bu faktörlerin her birinin potansiyel tehdit ve fırsatlarını daha net bir biçimde ortaya koyabilmek için PESTLE analizi faktörlerine dahil edilen unsurlara ekleme yapması ve GZTF analizini kombine ederek araştırmalar yürütmesi önerilebilir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Aka (2022). Erişim: 07 Şubat 2023, <https://shiftdelete.net/togg-ne-kadar-yakiyor>

Anadolu Ajansı (2021). Erişim: 11 Şubat 2023, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-ilk-otomobil-batarya-fabrikasi-bursanin-gemlik-ilcesinde-kuruluyor/2450928>

Anadolu Ajansı (2022). Erişim: 09 Şubat 2023, <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bakan-varank-togg-minimum-yuzde-51-yerlilikle-piyasaya-cikacak-2025te-de-minimum-yuzde-65-yerlilik-yakalayacak/2716418>

Basu R. (2004). Tools for analysis—PESTLE analysis in implementing quality: a practical guide to tools and techniques. First ed. London: Thomson Learning.

Christodoulou, A., and Cullinane, K. (2019). Identifying the main opportunities and challenges from the implementation of a port energy management system: A SWOT/PESTLE analysis. *Sustainability*, 11(21), 6046.

Cihan, K. A. (2017). Türkiye'de alternatif enerji kaynaklarının irdelenmesi: pestle analizi. *Uluslararası Ekonomi İşletme ve Politika Dergisi*, 1(2), 149-164.

Clark, B., and York, R. (2005). Carbon metabolism: Global capitalism, climate change, and the biospheric rift. *Theory and society*, 34, 391-428.

Debnath, R., Bardhan, R., Reiner, D. M., and Miller, J. R. (2021). Political, economic, social, technological, legal and environmental dimensions of electric vehicle adoption in the United States: A social-media interaction analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111707.

Demir, A. (2020). Türkiye'nin Otomobili'nin gzft analizi. *ESAM Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 24-46.

Deneen, P. J. (2002). Awakening from the American Dream: The End of Escape in American Cinema?. *Perspectives on Political Science*, 31(2), 96-103.

Doğan (2020). Erişim: 06 Şubat 2023, <https://teknoloji.org/elektrikli-araclarda-karbon-emisyonu/>

Ecevit, M. Z. (2018). Yeşil kalite ve yeşil imaj algısının daha fazla ödeme niyeti ile ilişkisi: yeşil göz boyamanın düzenleyici rolü. *Business and Management Studies: An International Journal*, 6(3), 482-496.

Fahey L., and Narayanan VK. (1986) Macro environmental analysis for strategic management (the west series in strategic management) South-Western.

GTSO (2021). Erişim: 19 Ocak 2023, <https://gtso.org.tr/togg/>

HaddadPajouh, H., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., Aledhari, M., and Karimipour, H. (2021). A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, 14, 100129.

Islam, F. R., and Mamun, K. A. (2017). Possibilities and challenges of implementing renewable energy in the light of PESTLE & SWOT analyses for island countries. *Smart Energy Grid Design for Island Countries: Challenges and Opportunities*, 1-19.

Kay (2022). Erişim: 06 Şubat 2023, <https://www.businessinsider.com/teen-security-researcher-describes-how-he-hacked-into-25-teslas-2022-1>

Kırar, A. M. ve Olgun, H. (2023). Türkiye’de Enerji Kooperatiflerinin GZFT (Güçlü, Zayıf, Fırsat, Tehdit Yönleri) ve PEST (Politik, Ekonomik, Sosyolojik, Teknolojik Etkenler) Analizleri İle Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Krieg, C. P. (2017). Energy Futures: John Updike's Petrofictions. *Studies in American Fiction*, 44(1), 87-112.

Lejarraga, I., Kouzul-Wright, A., Primi, A., Toselli, M., and Wermelinger, M. (2016, November). Upgrading pathways in the automotive value chain. In *Background document for the 7th Plenary Meeting of the OECD Initiative for Policy Dialogue on GVCs, Production Transformation and Upgrading, OECD*.

Nguyen, T. N., Lobo, A., and Nguyen, B. K. (2018). Young consumers’ green purchase behaviour in an emerging market. *Journal of Strategic Marketing*, 26(7), 583-600.

ODMD (2022). Erişim: 06 Şubat 2023, <https://www.odmd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/3364/Makroekonomik%20Değerlendirme%20-%20Aralık%202022.pdf>

OICA (2022a). Erişim: 04 Şubat, 2023, <https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics/>

OICA (2022b). Erişim: 04 Şubat, 2023, <https://www.oica.net/category/sales-statistics/>

Öz (2022). Erişim: 15 Şubat 2023, <https://www.arabam.com/blog/danisman/togg-icin-beklenen-vergi-duzenlemesi-geldi/>

Papuççıyan (2022). 15 Şubat 2023, <https://webrazzi.com/2022/10/31/uretim-bandindan-inen-togg-c-suv-ile-ilgili-tum-detaylar/>

Sammut-Bonnici, T., and Galea, D. (2015). PEST analysis. Wiley encyclopedia of management, Wiley Online Library.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2022). Erişim: 29 Ocak 2023, <https://tarmakbir.org/wp-content/uploads/2022/09/YerliMuhtevaOrani2022v2.pdf>

Statista (2022a). Erişim: 12 Şubat 2023, <https://www.statista.com/statistics/574151/global-automotive-industry-revenue/>

Statista (2022b). Erişim: 12 Şubat 2023, <https://www.statista.com/statistics/270603/worldwide-number-of-hybrid-and-electric-vehicles-since-2009/>

Statista (2023a). Erişim: 13 Şubat 2023, <https://www.statista.com/outlook/mmo/electric-vehicles/worldwide#unit-sales>

Statista (2023b). Erişim: 13 Şubat 2023, <https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opeccrude-oil-prices-since-1960/>

Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2023). Erişim: 16 Şubat 2023, [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On Birinci Kalkinma Plani-2019-2023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On-Birinci-Kalkinma-Plani-2019-2023.pdf)

Togg (2022). Erişim: 16 Ocak 2023, <https://www.togg.com.tr/en/togg-and-ava-labs-announce-strategic-partnership.html>

Trademap (2023). Erişim: 12 Şubat 2023, <https://exportpotential.intracen.org/en/markets/geo-map?whatMarker=s&what=68&fromMarker=w&exporter=w&toMarker=j>

Walker (2022). Erişim: 06 Şubat 2023, <https://www.fastcompany.com/90774779/heres-what-science-says-about-electric-cars-and-their-impact-on-noise-pollution>

Yaprak, B. (2022). Deus Ex Machina Olarak Dijitalleşme Perspektifinden Elektrikli Araç Sektörü. Dijital Etkileşimler: Sektörel Yansımaları I, İnci Merve Altan (Ed.), İstanbul, Efe Akademi, 51-64.

Yerlikaya, G. K. (2015). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği'nin uluslararası görevleri ve kurumların kapsamında dış ekonomik ilişkiler kurulu sorununun değerlendirilmesi. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 6(1), 1-32.

Yılmaz, A., Ulaş, M. ve Yeşil, A. (2022). Etnosentrizm ve Tüketici İlişkiseliliği: Yerli Otomobil Satın Alma Niyetinin Öngörüsü. *Selçuk İletişim*, 15 (1), 110-141.

Zhu, L., Hiltunen, E., Antila, E., Huang, F., and Song, L. (2015). Investigation of China's bio-energy industry development modes based on a SWOT-PEST model. *International Journal of Sustainable Energy*, 34(8), 552-559.

Araştırma Makalesi

Son adım teslimat yöntemi olan otonom teslimat araçlarının tüketiciler tarafından kabulü: Teknolojiye hazırlığın düzenleyici rolü

Mehmet Zahid Ecevit *

Bandırma Meslek Yüksekokulu, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

*Correspondence: mecevit@bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1256291

Özet: Dünyada ve Türkiye’de elektronik ticaretin artması müşterilerin teslimat konusundaki hız ve esneklik beklentisini artırmıştır ve son adım teslimatı daha da önemli hale getirmiştir. Nihai tüketiciye dokunması nedeniyle memnuniyet üzerinde doğrudan etkiye sahip olan bu aşama, lojistik açısından ise en problemlili ve maliyetli evredir. Bu problemlerden bazıları gürültü kirliliği, CO2 salınımı ve trafik yoğunluğu olup bunlarla da sınırlı değildir. Son adım teslimat uygulamalarında yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kaldırımlarda ve sokaklarda giden elektrikli ve sürücüsüz kara araçları olarak tanımlanan otonom teslimat araçlarının (ADV) değişim ihtiyacını karşılayabileceğine ve son adım teslimat pazarında devrim yaratma potansiyeline sahip olduğuna inanılmakta, bu nedenle daha sürdürülebilir, verimli ve müşteri odaklı bir ulaşım alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Otonom araçların kabulü birçok araştırmaya konu olmasına rağmen, çok az araştırma Otonom Teslimat Araçlarının kabulünü konu edinmiştir. Bu nedenle ADV'lerin kullanıcı kabulünü belirleyen yapılarla ilişkin daha kapsamlı bir genel bakış elde etmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada uyarlanmış bir UTAUT2 modeli ve TRI modeli kullanılarak üniversite öğrencilerinin ADV kabulü ile ilgili algı ve niyetleri araştırılmıştır. Hipotezlerin test edilmesinde Smart PLS4 yazılımı kullanılmış ve çoklu grup analizi ile TRI yüksek ve düşük gruplar kıyaslanmıştır. Araştırma sonucuna göre iki grup arasında özellikle fiyat hassasiyetinin ADV kabulü üzerindeki etkisinde anlamlı farklılık tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Son adım teslimat, otonom teslimat araçları, teknoloji hazırlık endeksi

Consumer Acceptance of Autonomous Delivery Vehicles as a Last Mile Delivery Method: The Regulatory Role of Technology Readiness

Abstract: With the increase in e-commerce in the world and in Turkey, customers' expectation of speed and flexibility in delivery has increased and the last step has made delivery even more important. This stage, which has a direct effect on satisfaction because it touches the end consumer, is the most problematic and costly stage in terms of logistics. Some of these problems are but are not limited to noise pollution, CO2 emissions and traffic density. Innovations are needed in last step delivery applications. It is believed that autonomous delivery vehicles (ADV), which are defined as electric and driverless land vehicles that go on pavements and streets, can meet the need for change and have the potential to revolutionize the last step delivery market, therefore it appears as a more sustainable, efficient and customer-oriented transportation alternative. Although the acceptance of autonomous vehicles has been the subject of many studies, very few studies have focused on the acceptance of Autonomous Delivery Vehicles. It is therefore important to obtain a more comprehensive overview of the structures that determine user acceptance of ADVs. In this study, university students' perceptions and intentions regarding ADV acceptance were investigated using an adapted UTAUT2 model and TRI model. Smart PLS4 software was used to test the hypotheses and TRI high and low groups were compared with multi-group analysis. As a result of the research, a significant difference was found between the two groups, especially in the effect of price sensitivity on ADV acceptance.

Keywords: Last mile delivery, autonomous delivery vehicles, technology readiness index

* Corresponding author.

E-mail address: mecevit@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-2388-3355

Received 25.02.2023; accepted 13.03.2023

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Yapılan araştırmalara göre COVID 19’unda etkisiyle 2020 yılında dünya genelinde 2 milyardan fazla insan 4,2 trilyon dolarlık e-ticaret hacmi gerçekleştirmiştir ve bu rakam bir önceki yıla göre %25 büyüme anlamına gelmektedir. Bu ticaret hacminin 2020-2025 yılların arasında dünya genelinde %6,29 büyümesi beklenirken, Türkiye için bu rakam %14,56’ya tekabül etmektedir (Statista, 2021a; Statista, 2021b). Artan bu e-ticaret hacmi müşterilerin teslimat konusundaki hız ve esneklik beklentisini artırmıştır. Bu beklenti işletmelerin farklı, maliyet konusunda daha etkin, esnek ve rekabet avantajı sağlayacak stratejiler üretmeleri yönünde baskı hissetmesine ve bu nedenle lojistik hizmetlere daha fazla önem vermelerine neden olmaktadır (Dünder, 2021). E-ticaretin son yıllarda önemli seviyelere gelmesi son adım teslimatı daha da önemli hale getirmiştir.

Türkçe alan yazında son adım teslimat (Nakıboğlu, 2020), son kilometre teslimat (Çakılcı ve Öztürkoğlu, 2021) şeklinde farklı ifade edilen “last mile delivery”, paketin yerel depodan nihai kullanıcıya doğru olan yolculuğunu ifade etmekte olup (Bates vd., 2018), e-ticaretin günden güne artmasıyla da daha önemli ve zorlayıcı hale gelmiştir (Wang vd., 2016). Nihai tüketiciye dokunması nedeniyle memnuniyet üzerinde doğrudan etkiye sahip olan bu aşama, lojistik açısından en problemlili ve maliyetli bir evredir (Nakıboğlu, 2020). Bu problemlerden bazıları gürültü kirliliği, CO2 salınımı ve trafik yoğunluğu olup bunlarla da sınırlı değildir (Liu vd., 2019).

Lojistik sektöründeki hızla değişen bu ortama (verimlilik ve çevreci beklenti gibi) klasik çözümlerle (kamyonet ile teslimat gibi) cevap vermek yeterli olmayacaktır. Bu nedenle son adım teslimat uygulamalarında yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kaldırımlarda ve sokaklarda giden elektrikli ve sürücüsüz kara araçları olarak tanımlanan otonom teslimat araçlarının (ADV) değişim ihtiyacını karşılayabileceğine ve son adım teslimat pazarında devrim yaratma potansiyeline sahip olduğuna inanılmakta, bu nedenle daha sürdürülebilir, verimli ve müşteri odaklı bir ulaşım alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır (Joerss vd., 2016; Marsden vd., 2018). Son adım teslimatında ADV'lerin potansiyeline rağmen, lojistik hizmet sağlayıcılarının ADV'leri genel olarak toplum tarafından kabul edilen bir şekilde tanıtması gerekir. Halk tarafından geniş çapta kabul görmezse, ADV'lerin geliştirilmesi ve piyasaya sürülmesi hem lojistik hizmet sağlayıcıları hem de araç geliştiricileri için önemli bir kaynak israfı olacaktır. Bu nedenle, geliştirme sürecinin başlarında kullanıcı kabulünün araştırılması gerekmektedir (Davis vd., 1989).

Otonom araçların tüketiciler tarafından benimsenmesi/kabulü ile ilgili yapılan araştırmalarda en fazla Birleştirilmiş Teknoloji Kabulü ve Kullanımı Teorisi (UTAUT), Teknoloji Kabul (TAM) ve Planlı Davranış Teorisi (TPB) teorik modellerin kullanıldığı görülmüştür. Örneğin; otomatikleştirilmiş yolcu aracının kabulünde UTAUT (Madigan vd., 2017), ileri düzeyde sürücü asistan sistemlerinin kabulünde TAM, TPB ve UTAUT modellerinin kıyaslanması (Rahman vd., 2017), otonom araçlara duyulan güvende TAM (Choi ve Ji, 2015), otonom araçları kullanma niyetinde TAM (Hegner vd., 2019) modelleri kullanılmıştır. Venkatesh vd. (2003) geliştirdikleri UTAUT modelinin, teknolojik yeniliklerin kabulünün benimsenmesinde önemli bir açıklama gücüne sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Geliştirilen bu ilk modelde teknolojik yeniliklerin kabulüne etki eden faktörler olarak Performans Beklentisi (Performance Expectancy), Çaba Beklentisi (Effort Expectancy), Sosyal Etki (Social Influence) ve Kolaylaştırıcı Koşullar (Facilitating Conditions) yer almaktaydı (Venkatesh vd., 2003). Bu modelin önemli bir kısıtı bulunmaktaydı. Teknolojik yeniliklerin kabulü örgütsel düzeydeki çalışanların aracılığıyla ölçülmüştü. Venkatesh vd. (2012), tarafından yeni geliştirilen UTAUT2 modeline nihai tüketicilerin teknolojik yenilikleri benimsemesini açıklayacak üç yeni değişken ilave edilmiştir; Hazcı Motivasyon (Hedonic Motivation), Fiyat-Değer (Price Value) ve Alışkanlık (Habit).

Kapsler vd., (2021), bazı değişkenleri UTAUT2 modelinden çıkarmak suretiyle modifiye ederek kullanmışlardır. Kapsler ve Abdelrahman (2020), aba beklentisinin ADV kabulündeki etkisini anlamlı bulmamıştır. Çünkü mobil uygulamalara zaten aşına olan tüketiciler ADV kullanımında çabanın etkisinin olmadığını düşünmüşlerdir. Modelden çıkarılan bir diğer değişken kolaylaştırıcı koşullar olmuştur. Çaba beklentisi ile bağlantılı olduğu düşünülen bu değişken ile ADV kullanımını zor algılamayan tüketicinin, kendinde yeterli donanımı göreceği varsayılmaktadır. UTAUT2 modelinden çıkarılan bir diğer değişken alışılmış davranış olmuştur. ADV teknolojisi henüz daha yeni olup pazarda tam olarak yerini almamış ve tüketiciler tarafından deneyimlenememiştir. Bu nedenle alışkanlık

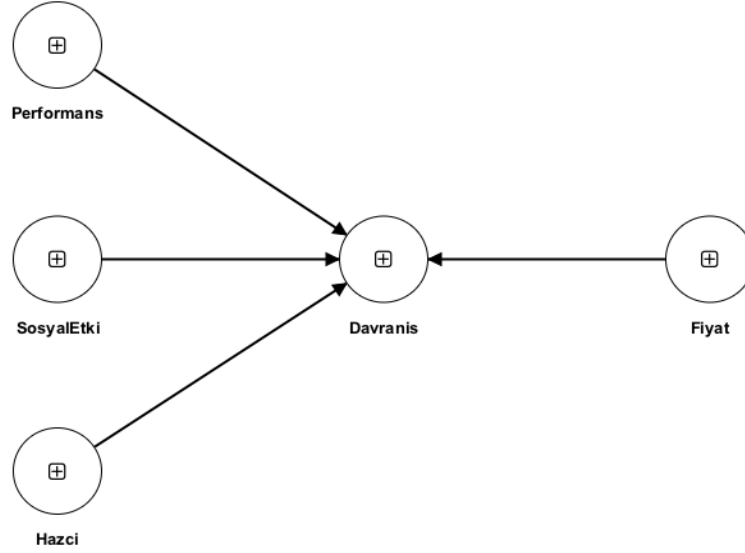
oluşması mümkün değildir. Bu sebeple araştırma modelinde kullanılmamıştır. Son olarak fiyat değeri değişeni fiyat hassasiyeti olarak revize edilerek modelde kullanılmıştır. Çünkü pazarda henüz kullanılmayan bir teknolojinin fiyatının oluşması mümkün değildir. Mevcut çalışmamızda yukarıda sayılan nedenlerden yola çıkarak daha az soru sorarak araştırmanın verimliliğini artırmak için uyarlanmış UTAUT2 modelinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Son birkaç yılda, ADV'ler yalnızca kavramsal bir fikir olarak tartışılmıştır. Otonom araçların kabulü birçok (örneğin, otonom arabalar ve servis araçları) araştırmaya konu olmasına rağmen (Hohenberger vd., 2016; Panagiotopoulos ve Dimitrakopoulos, 2018; Hegner vd., 2019), çok az araştırma Otonom Teslimat Araçlarının kabulünü konu edinmiştir (Kasper ve Abdelrahman, 2020; Marsden vd., 2018; Pani vd., 2020). Bu nedenle ADV'lerin kullanıcı kabulünü belirleyen yapılara ilişkin daha kapsamlı bir genel bakış elde etmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada uyarlanmış bir UTAUT2 modeli ve TRI modeli kullanılmıştır.

2. Teorik arkaplan ve araştırmanın hipotezleri

Elektronik ticaret operasyonlarının en önemli aşamalarından birisi lojistik faaliyetlerdir. Ürünlerin bölgesel bir hub ya da yerel bir dağıtım merkezinden nihai alıcılara teslim edilmesi son adım teslimatı (last-mile delivery) adı verilmektedir (Boysen vd., 2021). Özellikle kendi dağıtım ağına sahip olmayan, lojistik faaliyetlerini dış kaynak kullanarak yürüten (Güzel vd., 2017) yaygın bir dağıtıcıyla iş ilişkileri olmayan işletmeler e-ticaretin teslimat faaliyetlerinde son derece karmaşık durumlarla karşılaşmaktadır. Nihai alıcının gönderiyi teslim alamaması, geç teslim alması veya yanlış gönderiyi teslim alması gibi doğrudan hizmet hatalarının yanı sıra teslimat görevlilerinin alıcılara defaten iletişim kurma gereksiniminin ortaya çıkması da işletmelere finansal ve finansal olmayan maliyetler yüklemektedir. Tam olarak bu noktada, otonom sürüş teknolojileriyle donatılmış teslimat araçları sahneye çıkmaktadır.

Otonom araçlar, kısaca, insan etkileşimi olmaksızın çevrelerini algılayabilen sürücüsüz araçlar olarak tanımlanabilmektedir. Otonom araçların ar-ge süreçlerinde çarpıcı düzeydeki gelişmeler, büyük ölçüde 5G teknolojisi sayesinde gerçekleşmektedir (Yuen vd., 2020). Devrim niteliğindeki otonom araçlar işletmelere çok çeşitli faydalar sunsa da bütünüyle yeni bir teknolojik deneyim olması son kullanıcıları bu araçlarla yapılan teslimatları tercih etmeye ikna etmek oldukça zordur (Salari vd., 2022). Son birkaç yılda, otonom teslimat cihazları yalnızca kavramsal açıdan ele alınmaktaydı. Son kullanıcı tarafından kullanılan otonom araçların kullanıcılar açısından kabulü birçok araştırmaya konu olsa da (Hohenberger vd., 2016; Panagiotopoulos ve Dimitrakopoulos, 2018; Hegner vd., 2019) otonom teslimat araçlarının kullanıcılar tarafından kabulü üzerine yapılan çalışmalar kısıtlıdır (Kasper ve Abdelrahman, 2019). Bu araştırma ise literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere tasarlanarak ve yürütülmektedir. Otonom teslimat araçlarının kullanıcılar tarafından kabulünü etkileyen faktörlerin UTAUT2 (Venkatesh vd., 2012) modelindeki değişkenlerden yararlanılarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Öte yandan tüketicilerin yeni teknolojileri kullanmaya ne denli hazır olduklarını belirleyen TRI (Technology Readiness Index) ise moderatör değişken olarak kullanılmaktadır. Araştırmanın kavramsal modeli Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Araştırma modeli.

2.1. Performans beklentisi

Venkatesh vd. (2003) performans beklentisi kavramı bireyin iş performansının yenilikçi teknolojiler kullanarak gelişeceğine inanma derecesi olarak tanımlamaktadır. Performans beklentisi değişkeni aslında Teknoloji Kabul Modeli (TAM) değişkenlerinden birisi olan algılanan fayda (perceived usefulness) kavramı ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Otonom teslimat araçları bağlamında ise performans beklentisi, otonom teslimat araçlarını bir dağıtım seçeneği olarak kullanmanın tüketicilere ne ölçüde fayda sağlayacağıyla ilgilidir (Gürsoy vd., 2019). Geçmiş yıl çalışmalarında, performans beklentisinin davranışsal niyet ve kullanıcı kabulünün güçlü bir belirleyicisi olduğu görülmektedir (Ghalandari, 2012; Pangaribuan ve Wulandar, 2019). Örneğin Kasper ve Abdelrahman (2020) tarafından Almanya'daki kullanıcıların son adım teslimat yöntemi olarak otonom teslimat araçlarını kabulü üzerine yapılan araştırmada performans beklentisinin otonom teslimat aracı kullanım niyeti üzerindeki etkisi olduğu saptanmıştır. Önceki teorik ve ampirik bulgulara dayanarak aşağıdaki hipotezler önerilmektedir:

H_{1a}: Performans beklentisinin, tüm kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{1b}: Performans beklentisinin, teknolojiye hazırlık düzeyi düşük kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{1c}: Performans beklentisinin, teknolojiye hazırlık düzeyi yüksek kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{1d}: Performans beklentisinin, kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü etkisinde kullanıcıların teknolojiye hazırlık düzeyleri anlamlı bir farklılık göstermektedir.

2.2. Sosyal etki

Latane ve Wolf (1981) Sosyal Etki Teorisi'nde gruplar birey için ne derece önem taşıyorsa bireyin grup davranışlarına uyma olasılığının da o düzeyde arttığını öne sürmektedir. Sosyal etki, esasen bir bireyin kullanacağı veya kabulleneceği teknolojik yeniliğin aile, arkadaş ve yakın çevre gibi sosyal grubunun normlarına uygun olması durumudur. Önceki çalışmalar, müşterilerin sosyal ağlarının normlarının ve tutumlarının, bireylerin davranışsal niyetlerinin en kritik belirleyicilerinden birisi olduğunu ortaya koymaktadır (Rather, 2018; Althuisen, 2018). Söz gelimi Gürsoy vd. (2019) bir kullanıcının yapay zeka tabanlı teknolojileri kabulünün içinde bulunduğu grubun normlarına uygun olma olasılığının yüksek olduğunu öne sürmektedir. Geçmiş yıl çalışmalarındaki teorik ve ampirik bulgulardan hareketle aşağıdaki hipotezler önerilmektedir:

H_{2a}: Sosyal etkinin, tüm kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{2b}: Sosyal etkinin, teknolojiye hazırlık düzeyi düşük kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{2c}: Sosyal etkinin, teknolojiye hazırlık düzeyi yüksek kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{2d}: Sosyal etkinin, kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü etkisinde kullanıcıların teknolojiye hazırlık düzeyleri anlamlı bir farklılık göstermektedir.

2.3. Hazcı motivasyon

Brown ve Venkatesh (2005) hazcı motivasyonu bir ürünü kullanmaktan elde edilen toplam eğlence ve/veya zevk olarak tanımlamaktadır. Teknoloji bağlamında ise hedonik motivasyon, hizmet sunumu esnasında bir kullanıcının yeni bir teknolojinin kullanıldığı cihazlardan veya ürünlerden almayı beklediği eğlence ve/veya zevk anlamına gelmektedir. Bazı geçmiş yıl çalışmalarında hazcı motivasyon değişkeninin teknoloji adaptasyonu davranışında ana belirleyici olduğu ifade edilmektedir (Venkatesh vd., 2012; Law vd., 2018). Madigan vd. (2017) tarafından yapılan ampirik bir çalışmada hazcı motivasyonun davranışsal niyet üzerindeki doğrudan etkisi istatistiki açıdan anlamlı bulunmuştur. Önceki teorik ve ampirik bulgulara dayanarak aşağıdaki hipotezler önerilmektedir:

H_{3a}: Hazcı motivasyonun, tüm kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{3b}: Hazcı motivasyonun, teknolojiye hazırlık düzeyi düşük kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{3c}: Hazcı motivasyonun, teknolojiye hazırlık düzeyi yüksek kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{3d}: Hazcı motivasyonun, kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde pozitif yönlü etkisinde kullanıcıların teknolojiye hazırlık düzeyleri anlamlı bir farklılık göstermektedir.

2.4. Fiyat hassasiyeti

Goldsmith vd., (2005) fiyat hassasiyeti değişkenini alıcıların fiyat değişikliklerine tepki verme şekli olarak tanımlamaktadır. Geçmiş yıllarda az sayıda teknoloji kabul çalışmasının ölçüm modeline dahil edilen (Tsai ve LaRose, 2015) fiyat hassasiyeti değişkeni, birçok çalışmada da UTAUT2 modeline dahil edilmemiştir (Lakhal vd., 2013; Chaveesuk 2023). Kapsler ve Abdelrahman (2020) tarafından otonom teslimat araçları üzerine yürütülen ampirik çalışmada rekabet üstünlüğü sağlaması yönüyle fiyat hassasiyeti değişkeninin davranışsal niyet üzerinde etkisi olduğu raporlanmaktadır. Geçmiş yıl çalışmalarındaki teorik ve ampirik bulgulardan hareketle aşağıdaki hipotezler önerilmektedir:

H_{4a}: Fiyat hassasiyeti değişkeninin, tüm kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{4b}: Fiyat hassasiyeti değişkeninin, teknolojiye hazırlık düzeyi düşük kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{4c}: Fiyat hassasiyeti değişkeninin, teknolojiye hazırlık düzeyi yüksek kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkisi vardır.

H_{4d}: Fiyat hassasiyeti değişkeninin, kullanıcıların otonom teslimat araçlarının kullanımına ilişkin davranışsal niyetleri üzerinde negatif yönlü etkisinde kullanıcıların teknolojiye hazırlık düzeyleri anlamlı bir farklılık göstermektedir.

3. Materyal ve yöntem

3.1. Örneklem ve veri toplama

Çalışma üniversite öğrencilerini kapsamaktadır. Kolayda örnekleme yöntemi ile örneklem olarak Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi öğrencileri seçilmiştir. Araştırmada veri toplamak için iki sayfalık bir anket kullanılmıştır. İlk bölümde Otonom Teslimat Araçları hakkında bilgi verilerek, kısa demografik sorulara yer verilmiştir. Anketin ikinci bölümünde hipotezleri test etmek için, daha önce kullanılan ölçeklerden uyarlanmış 32 soruya yer verilmiştir.

Minimum örneklem büyüklüğünü hesaplamak için F testleri ve doğrusal çoklu regresyon (sabit model, sıfırdan R² sapması) ile Güç Analizi (G*Power) kullanılmıştır (Faul vd., 2007; Faul vd., 2009). Tahmini minimum örneklem büyüklüğü, 0.1 etki büyüklüğü, %1 hata olasılığı ve 4 yordayıcı sayısı ile 250 olarak hesaplanmıştır. Araştırmamızda 260 anket toplanmış ve 254 geçerli örneklem sayısına ulaşılmıştır.

3.2. Örneklem ve veri toplama

Çalışma için adapte edilen ölçeklerin tamamında beşli Likert ölçek kullanılmıştır. Tüketicilerin teknolojik ürünleri kabulünü ölçmek için Venkatesh vd., (2012) tarafından geliştirilen Birleştirilmiş Teknoloji Kabulü ve Kullanımı Teorisi (UTAUT2) ölçeği kullanılmıştır. Toplam 13 sorudan oluşan ölçekte performans beklentisi (4 soru), sosyal etki (3 soru), hazcı motivasyon (3 soru), davranışsal niyet (3 soru) ile ölçülmüştür. Teknolojik yeniliklere karşı fiyat hassasiyetini ölçmek için Goldsmith vd., (2005) tarafından geliştirilen Kapsel vd. (2021) tarafından uyarlanan fiyat hassasiyeti ölçeği kullanılmıştır. Teknolojik yeniliklere karşı hazır olma durumunu ölçmek için Parasuraman ve Colby (2015) tarafından geliştirilen Teknoloji Hazırlık Endeksi ölçeği kullanılmıştır. Toplam 16 sorudan oluşan ölçekte iyimserlik (4 soru), yenilikçi (4 soru), rahatsızlık (4 soru), güvensizlik (4 soru) ile ölçülmüştür. Ölçek sorularının tamamı araştırmacı tarafından Türkçe'ye uyarlanmıştır.

3.3. Teknoloji hazırlık endeksi gruplama

TRI 2.0, bireyleri günlük yaşamda teknolojiyi benimseme eğilimlerine göre değerlendirmekte ve sınıflandırmaktadır. Ölçek, iyimserliği (olumlu, 4 madde), yenilikçiliği (olumlu, 4 madde), rahatsızlığı (olumsuz, 4 madde) ve güvensizliği (olumsuz, 4 madde) ölçen 16 maddeden oluşmaktadır. Güvensizlik ve rahatsızlık boyutları ters kodlandıktan sonra ölçeğin ortalaması alınmıştır. TRI ortalaması 1,75 ile 4,62 arasında değişmekte olup ölçeğin ortalaması 3,17 olarak hesaplanmıştır. 3,17 ortalamasının üzerindeki katılımcılar yüksek teknoloji hazırlık grubu (118 katılımcı), 3,17 ortalamasının altındaki katılımcılarda (136 katılımcı) düşük teknoloji hazırlık grubu olarak tanımlanmıştır. Benzer bir yöntemi Hao ve Chon (2021) çalışmalarında kullanmışlardır.

4. Bulgular

Tablo 1, katılımcıların demografik bilgilerine ve otonom teslimat araçları farkındalığına ilişkin istatistik verileri göstermektedir.

Tablo 1. Demografik veriler

Değişken	Kategori	f	%
Cinsiyet	Erkek	138	54,3
	Kadın	116	45,7
Hane halkı gelir düzeyi	Gider>Gelir	61	24,0
	Gelir = Gider	134	52,8
	Gelir>Gider	59	23,2
Otonom teslimat araçlarından haberdar mısınız?	Evet	104	40,9
	Hayır	150	59,1

n= 254, f: Frekans

Ayrıca modelde bulunan değişkenlerin ortalama değerleri ve standart sapmalar Tablo 2'de, gruplayıcı değişken olan TRI ölçeği için ortalama değerleri ve standart sapmalar Tablo 3'de listelenmiştir.

Tablo 2. Ölçeklere ilişkin veriler

Madde	Ort.	S.S.	Çarpıklık	Basıklık
Gelecekte bir teslimat seçeneği olarak otonom teslimat araçlarını kullanmayı düşünüyorum.	3,71	0,91	-0,56	0,28
Gelecekte mümkün olduğunca otonom teslimat araçlarını günlük hayatımda bir teslimat seçeneği olarak kullanmaya çalışacağım.	3,60	0,94	-0,45	0,10
Gelecekte mümkün olduğunca otonom teslimat araçlarını sık sık kullanmayı planlıyorum.	3,34	0,92	0,00	0,04
Siparişleri otonom teslimat araçları ile teslim almaya daha fazla ücret ödemenin benim için sakıncası yoktur.	3,56	1,14	-0,48	-0,40
Otonom teslimat araçlarının büyük ihtimalle geleneksel teslimat seçeneklerinden daha pahalı olduğunu bilsem de bu benim için sorun değildir.	3,65	1,09	-0,53	-0,34
Gerçekten harika bir teslimat seçeneği için çok para ödemeye değerdi.	3,65	1,08	-0,52	-0,27
Otonom teslimat araçlarını kullanmanın zevkli olacağını düşünüyorum.	3,96	0,97	-1,01	0,87
Otonom teslimat araçlarını kullanmanın keyifli olacağını düşünüyorum.	3,97	0,98	-1,02	0,75
Otonom teslimat araçlarını kullanmanın eğlenceli olacağını düşünüyorum.	3,97	0,97	-0,93	0,54
Otonom teslimat araçlarının günlük hayatta faydalı olacağı kanaatindeyim.	3,96	0,91	-0,88	0,75
Otonom teslimat araçları kullanmanın işlerin daha hızlı yürümesine yardımcı olacağı kanaatindeyim.	3,85	0,95	-0,82	0,39
Otonom teslimat araçları kullanmanın verimliliğimi artıracığı kanaatindeyim.	3,64	0,98	-0,49	-0,18
Otonom teslimat araçları kullanmanın günlük hayatımdaki esnekliğimi artıracığı kanaatindeyim.	3,52	1,03	-0,25	-0,55
Önemsediğim insanlar, benim otonom teslimat araçlarını kullanmam gerektiğini düşünürler.	3,03	0,98	0,06	-0,12
Davranışımı etkileyen insanlar, benim otonom teslimat araçlarını kullanmam gerektiğini düşünürler.	2,93	0,95	-0,14	0,01
Fikirlerine değer verdiğim insanlar, benim otonom teslimat araçlarını kullanmamı tercih ederler.	3,24	1,04	-0,37	-0,13

Tablo 3. TRI ölçeğine ilişkin veriler

Madde	Ort.	S.S.	Çarpıklık	Basıklık
Yeni teknolojiler daha iyi bir yaşam kalitesine katkıda bulunur.	4,06	1,08	0,52	-0,29
Teknoloji bana daha fazla hareket özgürlüğü sağlıyor.	3,84	1,06	-1,32	1,55
Teknoloji, insanlara günlük yaşamları üzerinde daha fazla kontrol sağlar.	3,85	1,00	-0,65	0,06
Teknoloji, özel hayatımda beni daha üretken kılıyor.	3,60	1,04	-0,46	-0,26
Diğer insanlar yeni teknolojiler hakkında tavsiye almak için bana gelirler.	3,13	1,05	0,07	-0,53
Genel olarak, yeni bir teknoloji ortaya çıktığında arkadaş çevremde ilk edinenlerdenim.	2,89	1,06	0,12	-0,48
Yeni yüksek teknolojili ürün ve hizmetleri genellikle başkalarından yardım almadan çözebilirim.	3,58	1,01	-0,33	-0,28
İlgi alanlarımdaki en son teknolojik gelişmeleri takip ederim.	3,68	1,05	-0,40	-0,62
Yüksek teknolojili bir ürün veya hizmet sağlayıcısından teknik destek aldığımda, bazen benden daha fazlasını bilen biri tarafından kullanılıyormuşum gibi hissederim.	3,11	1,06	-0,41	-0,44
Teknik destek hatları, konuları anladığım terimlerle açıklamadıkları için yardımcı olmuyor	2,78	0,97	-0,37	-0,39
Bazen, teknoloji sistemlerinin sıradan insanların kullanımı için tasarlanmadığını düşünüyorum.	2,75	1,12	0,20	-0,62
Yüksek teknolojili bir ürün veya hizmet için sade bir dille yazılmış kılavuz diye bir şey yoktur.	2,94	1,09	-0,01	-0,50
İnsanlar kendi başlarına bir şeyler yapamayacak kadar teknolojiye bağımlıdır.	2,79	1,19	0,28	-0,79
Çok fazla teknoloji insanların dikkatini zararlı bir noktaya çekiyor	2,52	1,18	0,41	-0,67
Teknoloji, kişisel etkileşimi azaltarak ilişkilerin kalitesini düşürür	2,47	1,18	0,55	-0,46
Yalnızca çevrimiçi olarak ulaşılabilen bir yerle iş yaparken kendimi güvende hissetmiyorum	2,86	1,14	0,08	-0,62
Ort.: Ortalama, S.S.: Standart Sapma				

4.1. Ölçüm modelinin test edilmesi

Ölçüm modeli güvenilirlik, yakınsak geçerlilik ve ayırt edici geçerlilik açısından incelenmiştir (Ringle vd., 2015). Araştırma modelini test etmek amacıyla (Şekil 1), PLS-SEM kullanılmıştır. Analizler için SmartPLS4 kullanılmıştır. İlk olarak güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Güvenilirlik, modelde kullanılan araçların ardışık denemelerde ne ölçüde aynı sonuçları sağlayabildiğini gösteren bir analizi türüdür (Carmines ve Zeller, 1979). Bu kapsamda güvenilirlik analizleri için Cronbach α katsayısı hesaplanmıştır. Tablo 4'te görüldüğü gibi değişkenlerin α katsayıları her üç grup için de (genel örneklem, düşük ve yüksek TRI) 0,770 ile 0,972 arasında değişmektedir ve toplamda tüm değişkenlerin kabul edilebilir

güvenilirlik düzeylerine sahip olduğu tespit edilmiştir (George ve Mallery, 2003; Gondoli ve Jacob, 1993).

Tablo 4. Madde faktör yükü dağılımları

Madde	Faktör Yükleri		
	Tüm Veri	Yüksek TRI	Düşük TRI
DAV 1	0,872	0,843	0,878
DAV 2	0,906	0,888	0,917
DAV 3	0,875	0,890	0,848
FYT 1	-0,887	-0,919	-0,853
FYT 2	-0,927	-0,941	-0,908
FYT 3	-0,864	-0,881	-0,851
HAZ 1	0,936	0,933	0,933
HAZ 2	0,961	0,972	0,951
HAZ 3	0,936	0,938	0,932
PER 1	0,794	0,724	0,817
PER 2	0,837	0,876	0,791
PER 3	0,847	0,846	0,830
PER 4	0,770	0,714	0,776
SOE 1	0,896	0,931	0,863
SOE 2	0,879	0,897	0,859
SOE 3	0,870	0,820	0,902

TRI: Teknolojiye hazır bulunuşluk DAV: Davranış, FYT: Fiyat, HAZ: Hazcı, PER: Performans, SOE: Sosyal etki

Modelin geçerliliğine ilişkin bir diğer analiz ise Tablo 5'te gösterilen yakınsak geçerlilik sonuçlarının gözlemlenmesidir (Hair vd., 2011). İlgili araştırmalara göre maddelerin faktör yüklerinin 0,5'in üzerinde (Anderson ve Gerbing, 1988; Hair vd., 2009), bileşik güvenilirlik (CR) 0.6'nın üzerinde (Bagozzi ve Yi, 1988); (AVE) 0.5'in üzerinde ortalama varyansa sahip olması gerekmektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Ayrıca, AVE'nin kareköklerinin ilgili satır ve sütunlarda köşegen dışı korelasyon katsayılarının üzerinde olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, modeldeki her üç grup için her bir maddenin yakınsak geçerlilik gereksinimlerini karşıladığı belirlenmiştir.

Tablo 5. Modele ilişkin güvenilirlik ve geçerlilik verileri

	a	rho_A	CR	AVE	DAV	FYT	HAZ	PER	SOE
Tüm Veri									
DAV	0,861	0,863	0,915	0,783	0,885				
FYT	0,873	0,874	0,922	0,798	0,346	0,893			
HAZ	0,939	0,940	0,961	0,892	0,467	0,028	0,944		
PER	0,828	0,829	0,886	0,660	0,550	0,073	0,539	0,812	
SOE	0,858	0,869	0,913	0,778	0,392	0,208	0,399	0,401	0,882
Yüksek TRI									
DAV	0,845	0,849	0,906	0,763	0,874				
FYT	0,901	0,903	0,938	0,836	0,317	0,914			
HAZ	0,943	0,949	0,964	0,898	0,366	0,037	0,948		
PER	0,802	0,830	0,871	0,629	0,523	0,187	0,459	0,793	
SOE	0,861	0,914	0,915	0,782	0,356	0,244	0,330	0,332	0,884
Düşük TRI									
DAV	0,856	0,863	0,913	0,777	0,881				
FYT	0,841	0,842	0,904	0,759	0,386	0,871			
HAZ	0,932	0,934	0,957	0,881	0,498	0,013	0,939		
PER	0,818	0,820	0,879	0,646	0,519	-0,031	0,552	0,804	
SOE	0,851	0,902	0,907	0,766	0,400	0,174	0,431	0,425	0,875

a: Cronbach alfa, rho_A: Joreskog rho, CR: Composite reliability, AVE: Average variance extracted

4.2. Modelin test edilmesi ve çoklu grup analizi

R² eğeri, her içsel değişkende açıklanan varyansı hesaplayarak örneklem içi yordama gücünü değerlendirmektedir (Shmueli ve Koppius, 2011). Genel örneklem, yüksek ve düşük hazırlık grupları için bağımlı değişken olan Davranışın R2si sırasıyla 0,444; 0,360 ve 0,491 olarak hesaplanmıştır. Artık korelasyon matrisinin (SRMR) ortalama karesel öğeleri sırasıyla 0,065;0,077 ve 0,078 olarak hesaplanmıştır. SRMR değerleri 0,0 ve 0,08 arası kabul edilebilir bulunmaktadır (Hu ve Bentler, 1999). Modelin NFI değerleri ise sırasıyla 0,840; 0,803 ve 0,781 olarak hesaplanmış olup modelin kabul edilebilir uyum iyiliği değerlerine sahip olduğu söylenebilir (Fan vd., 2016).

PLS sonuçları Tablo 6 ve Şekil 2'de özetlenmiştir. Genel örneklem için Performansın ($\beta = 0,372$), Sosyal Etkinin ($\beta = 0,095$) ve Hazzın ($\beta = 0,221$) Davranış üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Fiyat Hassasiyetinin ($\beta = - 0,290$) negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle H1a, H2a, H3a ve H4a hipotezleri desteklenmektedir.

Düşük TRI grubu için Performansın ($\beta = 0,353$) ve Hazzın ($\beta = 0,269$) Davranış üzerinde pozitif ve anlamlı, Fiyat Hassasiyetinin ($\beta = - 0, 381$) negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Sosyal Etkinin ($\beta = 0,068$) Davranış üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Bu nedenle H1b, H3b ve H4b hipotezleri desteklenirken H2b hipotezi desteklenmemektedir.

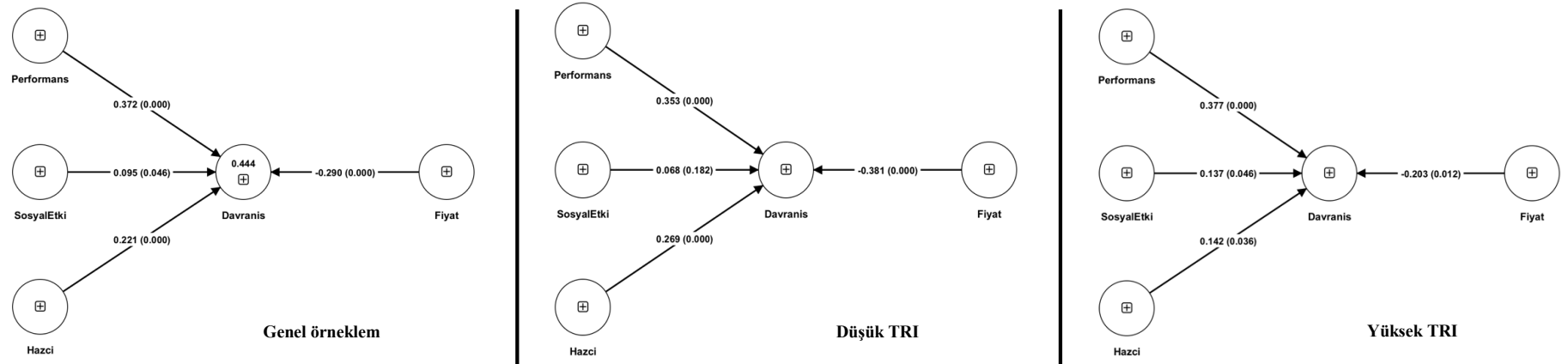
Yüksek TRI grubu için Performansın ($\beta = 0,377$), Sosyal Etkinin ($\beta = 0,137$) ve Hazzın ($\beta = 0,142$) Davranış üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Fiyat

Hassasiyetinin ($\beta = -0,203$) negatif ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle H1c, H2c, H3c ve H4c hipotezleri desteklenmektedir.

SmartPLS 4 yazılımı yardımıyla hipotezlerin analizi için PLS-MGA (Çoklu Grup Analizi) yöntemi kullanılmıştır. PLS, kısmi model yapılarını değerlendirmek için temel bileşen analizini ve sıradan en küçük kareler regresyonlarını birleştirmektedir (Mateos-Aparicio, 2011). SmartPLS yazılımının teorik çerçeveleri genişletmede, gizli değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri analiz etmede avantajları bulunmaktadır (Hair vd, 2019). Yüksek ve düşük hazırlık grupları arasındaki parametre tahminlerindeki değişimleri tahmin etmek için PLS-MGA yardımı ile çok gruplu bir analiz yapılmıştır (Sarstedt vd., 2011) Yüksek ve Düşük TRI grupları arasında anlamlı bir fark olup olmadığının test edilmesi için yapılan çoklu grup analizi sonuçlarına göre yalnızca Fiyat Hassasiyetinin ($\beta = -0,178$) Davranış üzerindeki etkisinin anlamlı bir şekilde farklı olduğu görülmektedir. Daha açık bir ifadeyle Daha açık bir ifadeyle Düşük TRI gurubu için Fiyat Hassasiyetinin Davranış üzerindeki etkisi ($\beta = -0,381$) iken, Yüksek TRI grubu için bu değer ($\beta = -0,203$) olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle H1d, H2d, H3d hipotezleri reddedilmekte ve yalnızca H4d hipotezi desteklenmektedir.

Tablo 6. Çoklu-grup Analiz Sonuçları

Hipotez	Tüm Veri			Yüksek TRI			Düşük TRI			Fark (Düşük-Yüksek)		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p	β	t	p
H1: PER → DAV	0,372	6,755	0,000	0,377	4,585	0,000	0,353	4,825	0,000	-0,024	0,216	0,415
H2: SOE → DAV	0,095	1,683	0,046	0,137	1,689	0,046	0,068	0,907	0,182	-0,069	0,627	0,266
H3: HAZ → DAV	0,221	3,813	0,000	0,142	1,796	0,036	0,269	3,409	0,000	0,127	1,138	0,128
H4: FYT → DAV	-0,290	5,581	0,000	-0,203	2,271	0,012	-0,381	6,500	0,000	-0,178	1,717	0,044

**Şekil 2.** PLS model sonuçları

5. Sonuç ve tartışma

Dünyada ve Türkiye’de elektronik ticaretin artmasıyla müşterilerin teslimat konusundaki hız ve esneklik beklentisi artmış ve son adım teslimat daha da önemli hale gelmiştir. Nihai tüketiciye dokunması nedeniyle memnuniyet üzerinde doğrudan etkiye sahip olan bu aşama, lojistik açısından en problemlili ve maliyetli bir evredir. Bu problemlerden bazıları gürültü kirliliği, CO2 salınımı ve trafik yoğunluğu olup bunlarla da sınırlı değildir. Son adım teslimat uygulamalarında yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kaldırımlarda ve sokaklarda giden elektrikli ve sürücüsüz kara araçları olarak tanımlanan otonom teslimat araçlarının (ADV) değişim ihtiyacını karşılayabileceğine ve son adım teslimat pazarında devrim yaratma potansiyeline sahip olduğuna inanılmakta, bu nedenle daha sürdürülebilir, verimli ve müşteri odaklı bir ulaşım alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Otonom araçların kabulü birçok araştırmaya konu olmasına rağmen, çok az araştırma Otonom Teslimat Araçlarının kabulünü konu edinmiştir. Bu nedenle ADV'lerin kullanıcı kabulünü belirleyen yapılara ilişkin daha kapsamlı bir genel bakış elde etmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada uyarlanmış bir UTAUT2 modeli ve TRI modeli kullanılarak üniversite öğrencilerinin ADV kabulü ile ilgili algı ve niyetleri araştırılmıştır.

Araştırma ile önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Öncelikle geliştirilen hipotezler örneklemin geneli için bakıldığında tümünün kabul edildiğini görmekteyiz. Diğer bir ifadeyle etki büyüklüğü açısından sırasıyla performans beklentisinin ($\beta = 0,372$), fiyat hassasiyetinin ($\beta = -0,290$), hazzın ($\beta = 0,221$) ve sosyal etkinin ($\beta = 0,095$) ADV'lerin kabulü üzerinde anlamlı etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Sonuçlar Venkatesh vd. (2003), ile uyumludur. Bahsi geçen çalışmada ADV kullanımına en çok etki eden faktör performans beklentisi iken, Kapsel ve Abdelrahman’ın (2020), çalışmalarında en etkili faktör fiyat hassasiyeti olmuştur. Yüksek TRI grubu için etki büyüklüklerinin genel örnekleme göre farklı olduğu görülmektedir. Geliştirilen hipotezler bu grup için bakıldığında tümünün kabul edildiğini görmekteyiz. Etki büyüklüğü açısından sırasıyla performans beklentisinin ($\beta = 0,377$), fiyat hassasiyetinin ($\beta = -0,203$), hazzın ($\beta = 0,142$) ve sosyal etkinin ($\beta = 0,137$) ADV'lerin kabulü üzerinde etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Benzer bir şekilde, Madigan vd. (2017) hazzın ve sosyal etkinin ADV kabulünde etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer taraftan düşük TRI grubu için bazı hipotezlerin kabul edilmediği görülmektedir. Diğer bir ifade ile düşük TRI grubu için performans beklentisinin ($\beta = 0,353$), fiyat hassasiyetinin ($\beta = -0,381$), hazzın ($\beta = 0,269$) ADV'lerin kabulü üzerinde etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Ancak sosyal etkinin ($\beta = 0,068$) ADV kabulü üzerinde etkisi anlamlı bulunmamıştır. Yüksek TRI grubu ile kıyaslandığında fiyat hassasiyetinin ($\beta = -0,381 / -0,203$), hazzın ($\beta = 0,269 / 0,142$) ve sosyal etkinin ($\beta = 0,068 / \beta = 0,137$) ADV kabulü üzerindeki etkilerinin önemli ölçüde farklı olduğu ancak bunlardan sadece fiyat hassasiyetinin etkisindeki farkın anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak TRI düşük olan bireylerin ADV'lerin kabulünde fiyat hassasiyetinin negatif etkisinin diğer faktörlere göre daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Diğer bir ifadeyle düşük TRI sahibi bireylerde fiyat hassasiyeti daha fazla olup bu nedenle ADV kullanım niyetleri daha az olmaktadır.

Araştırmamızda iki grup (düşük ve yüksek TRI) arasında önemli farklılıklar tespit edilmiş ancak bazıları anlamlı bulunmamıştır. Örneğin, düşük TRI grubu için hazzın ADV kabulünde yüksek TRI grubuna kıyasla daha fazla etkili olduğu, diğer taraftan yüksek TRI grubu için de sosyal etkinin daha fazla etkili olduğu görülmüş ancak bu farklılık anlamlı bulunmamıştır. Buradan yola çıkarak düşük TRI grubunun haz odaklı, yüksek TRI grubunun ise sosyal etki odaklı ADV'leri kullanabileceğini söyleyebilmemiz için yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırmamızın uygulamaya katkısı olması açısından şu öneriler getirilebilir. Tüketiciler ADV kabulünde, özellikle düşük TRI'ya sahip kullanıcılarda, fiyat hassasiyeti önemli bir etkidir. Bu nedenle ADV'ler geleneksel yönetimlere göre daha rekabetçi olmalıdır. Ayrıca performans beklentisi de en önemli etki faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Ürün geliştirme ve tanıtımlarda ürünün sağlayacağı faydalara odaklanmak gerekmektedir. Son olarak sosyal etki ve haz daha düşük te olsa ADV kullanım niyetine etki etmektedir. Özellikle yüksek TRI'ya sahip kullanıcılar için tanıtımlarda sosyal baskı unsuru öne plana çıkarılabilir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Althuizen, N.** (2018). Using structural technology acceptance models to segment intended users of a new technology: Propositions and an empirical illustration. *Information Systems Journal*, 28(5), 879-904.
- Anderson, J. C. ve Gerbing, D. W.** (1988), “Structural equation modelling in practice: A review and recommended two-step approach”, *Psychological Bulletin*, 103, 411-423.
- Bagozzi, R.P. ve Yi, Y.** (1988), “On the evaluation of structural equation models”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 16 1, 74-94.
- Bates, O., Friday, A., Allen, J., Cherrett, T., McLeod, F., Bektas, T., ve Davies, N.** (2018, April). Transforming last-mile logistics: Opportunities for more sustainable deliveries. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-14).
- Boysen, N., Fedtke, S., ve Schwerdfeger, S.** (2021). Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. *Or Spectrum*, 43, 1-58.
- Brown, S. A., ve Venkatesh, V.** (2005). Model of adoption of technology in households: A baseline model test and extension incorporating household life cycle. *MIS quarterly*, 399-426.
- Carmines, E. G., ve Zeller, R. A.** (1979). *Reliability and validity assessment*. Sage publications.
- Chaveesuk, S., Chaiyasoonthorn, W., Kamales, N., Dacko-Pikiewicz, Z., Liszewski, W., ve Khalid, B.** (2023). Evaluating the Determinants of Consumer Adoption of Autonomous Vehicles in Thailand—An Extended UTAUT Model. *Energies*, 16(2), 855.
- Choi, J. K., ve Ji, Y. G.** (2015). Investigating the importance of trust on adopting an autonomous vehicle. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(10), 692-702.
- Çakılcı, C., ve Öztürkoğlu, Y.** (2021). Sürdürülebilir ‘Son Kilometre’ teslimat Süreci İçin Kavramsal Bir Çerçeve Modelinin Geliştirilmesi. *Lojistik Dergisi*, (54), 61-81.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., ve Warshaw, P. R.** (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management science*, 35(8), 982-1003.
- Dünder, A. O.** (2021). Kitle Kaynak Lojistiğın Son Adım Teslimatlarda Uygulanması Üzerine Bir Araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 24(2), 511-527.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., ve Lang, A. G.** (2009). Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior research methods*, 41(4), 1149-1160.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., ve Buchner, A.** (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175-191.
- Fornell, C. ve Larcker, D.F.** (1981), “Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error”, *Journal of Marketing Research*, 18, 1, 39-50.

George D ve Mallery P. (2003). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference 11.0 update (4th ed.)*, Allyn & Bacon: Boston.

Ghalandari, K. (2012). The effect of performance expectancy, effort expectancy, social influence and facilitating conditions on acceptance of e-banking services in Iran: The moderating role of age and gender. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12(6), 801-807.

Goldsmith, R. E., Kim, D., Flynn, L. R., ve Kim, W. M. (2005). Price sensitivity and innovativeness for fashion among Korean consumers. *The Journal of social psychology*, 145(5), 501-508.

Gondoli, D. M. ve Jacob, T. (1993), “Factor structure within and across three family-assessment procedures”, *Journal of Family Psychology*, 6, 3, 278.

Gürsoy, D., Chi, O. H., Lu, L., ve Nunkoo, R. (2019). Consumers acceptance of artificially intelligent (AI) device use in service delivery. *International Journal of Information Management*, 49, 157-169.

Güzel, D., Tüzemen, A., ve Yaprak, B. (2017). Firmaların 3PL (üçüncü parti lojistik) hizmet sağlayıcılarını seçerken kullandıkları kriterler üzerine bir çalışma: Erzurum ihracatçıları örneği. *Ataturk University Journal of Economics & Administrative Sciences*, 31(3).

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., ve Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, 31(1), 2-24.

Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. ve Tatham, R.L. (2009), *Multivariate Data Analysis*, Pearson.

Hair, J.F., Ringle, C.M. ve Sarstedt, M. (2011), “PLS- SEM: indeed, a silver bullet”, *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19, 2, 139-152.

Hegner, S. M., Beldad, A. D., ve Brunswick, G. J. (2019). In automatic we trust: investigating the impact of trust, control, personality characteristics, and extrinsic and intrinsic motivations on the acceptance of autonomous vehicles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(19), 1769-1780.

Hohenberger, C., Spörrle, M., ve Welpe, I. M. (2016). How and why do men and women differ in their willingness to use automated cars? The influence of emotions across different age groups. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 374-385.

Hu, L. T., ve Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.

Joerss, M., Schröder, J., Neuhaus, F., Klink, C., ve Mann, F. (2016). Parcel delivery: The future of last mile. *McKinsey & Company*, 1-32.

Kapser, S. (2019). *User acceptance of autonomous delivery vehicles—an empirical study in Germany*. University of Northumbria at Newcastle (United Kingdom).

Kapser, S., Abdelrahman, M., ve Bernecker, T. (2021). Autonomous delivery vehicles to fight the spread of Covid-19—How do men and women differ in their acceptance?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 148, 183-198.

Kapser, S., ve Abdelrahman, M. (2019). Extending UTAUT2 to Explore User Acceptance of Autonomous Delivery Vehicles.

Kapser, S., ve Abdelrahman, M. (2020). Acceptance of autonomous delivery vehicles for last-mile delivery in Germany—Extending UTAUT2 with risk perceptions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 210-225

- Lakhal, S., Khechine, H., ve Pascot, D.** (2013). Student behavioural intentions to use desktop video conferencing in a distance course: integration of autonomy to the UTAUT model. *Journal of Computing in Higher Education*, 25, 93-121.
- Latané, B., ve Wolf, S.** (1981). The social impact of majorities and minorities. *Psychological Review*, 88(5), 438.
- Law, R., Chan, I. C. C., ve Wang, L.** (2018). A comprehensive review of mobile technology use in hospitality and tourism. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 27(6), 626-648.
- Li, B., Liu, S., Tang, J., Gaudiot, J. L., Zhang, L., ve Kong, Q.** (2020). Autonomous last-mile delivery vehicles in complex traffic environments. *Computer*, 53(11), 26-35.
- Liu, C., Wang, Q., ve Susilo, Y. O.** (2019). Assessing the impacts of collection-delivery points to individual's activity-travel patterns: A greener last mile alternative?. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 121, 84-99.
- Madigan, R., Louw, T., Wilbrink, M., Schieben, A., ve Merat, N.** (2017). What influences the decision to use automated public transport? Using UTAUT to understand public acceptance of automated road transport systems. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 50, 55-64.
- Marsden, N., Bernecker, T., Zöllner, R., Sußmann, N., ve Kapsler, S.** (2018, June). BUGA: log-A real-world laboratory approach to designing an automated transport system for goods in Urban Areas. In 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) (pp. 1-9). IEEE.
- Mateos-Aparicio, G.** (2011). Partial least squares (PLS) methods: Origins, evolution, and application to social sciences. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 40(13), 2305-2317.
- Nakıboğlu, G.** (2020), Drone Taşımacılığı ve Son-Adım Teslimatta Kullanımı. Çukurova Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(2), 285-298.
- Panagiotopoulos, I., ve Dimitrakopoulos, G.** (2018). An empirical investigation on consumers' intentions towards autonomous driving. *Transportation research part C: emerging technologies*, 95, 773-784.
- Pangaribuan, C. H., ve Wulandar, Y. S.** (2019). A crowdfunding platform user acceptance: An empirical examination of performance expectancy, effort expectancy, social factors, facilitating condition, attitude, and behavioral intention. In *SU-AFBE 2018: Proceedings of the 1st Sampoerna University-AFBE International Conference, SU-AFBE 2018, 6-7 December 2018, Jakarta Indonesia* (p. 346). European Alliance for Innovation.
- Pani, A., Mishra, S., Golias, M., ve Figliozzi, M.** (2020). Evaluating public acceptance of autonomous delivery robots during COVID-19 pandemic. *Transportation research part D: transport and environment*, 89, 102600.
- Parasuraman, A., ve Colby, C. L.** (2015). An updated and streamlined technology readiness index: TRI 2.0. *Journal of service research*, 18(1), 59-74.
- Rahman, M. M., Lesch, M. F., Horrey, W. J., ve Strawderman, L.** (2017). Assessing the utility of TAM, TPB, and UTAUT for advanced driver assistance systems. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 361-373.

- Rather, R. A.** (2018). Investigating the impact of customer brand identification on hospitality brand loyalty: A social identity perspective. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 27(5), 487-513.
- Salari, M., Kattan, L., and Gentili, M.** (2022). Optimal roadside units location for path flow reconstruction in a connected vehicle environment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 138, 103625.
- Starstedt, M., Henseler, J., ve Ringle, C. M.** (2011). Multigroup analysis in partial least squares (PLS) path modeling: Alternative methods and empirical results. In *Measurement and research methods in international marketing*. Emerald Group Publishing Limited.
- Shmueli, G., ve Koppius, O. R.** (2011). Predictive analytics in information systems research. *MIS quarterly*, 553-572.
- Statista** (2021a). E-commerce worldwide - Statistics & Facts, erişim tarihi: 15.08.2021, <https://www.statista.com/topics/871/online-shopping/#dossier-chapter1>
- Statista** (2021b). Digital Market Outlook: retail e-commerce sales CAGR in selected markets 2021-2025, erişim tarihi: 15.08.2021, <https://www.statista.com/forecasts/220177/b2c-e-commerce-sales-cagr-forecast-for-selected-countries>
- Tsai, H. Y. S., ve LaRose, R.** (2015). Broadband Internet adoption and utilization in the inner city: A comparison of competing theories. *Computers in human behavior*, 51, 344-355.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., ve Davis, F. D.** (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Venkatesh, V., Thong, J. Y., ve Xu, X.** (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 157-178.
- Wang, Y., Zhang, D., Liu, Q., Shen, F., ve Lee, L. H.** (2016). Towards enhancing the last-mile delivery: An effective crowd-tasking model with scalable solutions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 279-293.
- Yuen, K. F., Wong, Y. D., Ma, F., ve Wang, X.** (2020). The determinants of public acceptance of autonomous vehicles: An innovation diffusion perspective. *Journal of Cleaner Production*, 270, 121904.

Research Article

Integrating a Connected Micromobility Infrastructure to the Existing Public Transport

İhsan Sadati^{1,*}

¹ Faculty of Engineering and Natural Sciences, Smart Mobility and Logistics Lab, Sabanci University, Istanbul, Turkey

DOI: 10.51513/jitsa.1148025

Abstract: This paper presents the integration of connected micromobility infrastructure into the existing public transport system. The integration purpose is to help organize the public space in the urban environment, lower operation costs for micromobility operators, and create a better Mobility-as-a-Service (MaaS) experience for citizens with the connected and universal micromobility charging infrastructure solution. Our goal is to efficiently consolidate electric-powered shared micromobility vehicles such as e-scooters and e-bikes into hubs to manage their charging and maintenance operations efficiently. Therefore, determining the locations of these e-hubs and the required charging infrastructure is paramount for satisfying the commuters' needs. We address this problem using an optimization approach and develop a model for siting and sizing micromobility e-hubs within an urban context. We formulate the problem as a mixed-integer linear programming (MILP) and develop a Variable Neighbourhood Search (VNS) metaheuristic algorithm to solve the problem. The evaluation of the performance of the solution methodology is applied using real data from Ankara Metropolitan Municipality (AMM).

Keywords: Micromobility vehicles, e-hub, electric-powered shared micromobility vehicles, charging, urban mobility, e-scooters, e-bikes, variable neighborhood search

Bağlantılı Mikromobilite Altyapısını Mevcut Toplu Taşıma Sistemine Entegrasyonu

Özet: Bu çalışma, bağlantılı mikromobilite altyapısının mevcut toplu taşıma sistemine entegrasyonunu ele almaktadır. Entegrasyonun amacı, kentsel ortamda kamusal alanın düzenlenmesine yardımcı olmak, mikromobilite operatörleri için işletme maliyetlerini düşürmek, bağlantılı ve evrensel mikromobilite şarj altyapısı çözümüyle vatandaşlar için daha iyi bir Hizmet Olarak Mobilite (MaaS) deneyimi sağlamaktır. Amacımız, şarj ve bakım işlemlerini verimli bir şekilde yönetmek için elektrikli skuter ve elektrikli bisiklet gibi elektrikle çalışan paylaşılan mikromobilite araçlarını istasyonlarda verimli bir şekilde birleştirilmesidir. Bu bağlamda, istasyonların konumlarının ve gerekli şarj altyapısının belirlenmesi, vatandaşların yolculuk ihtiyaçlarının karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmada bu problemi eniyileme yaklaşımı kullanarak ele alıyoruz ve kent içindeki mikromobilite istasyonlarının konumlarının ve gereken şarj altyapısının belirlenmesi için bir karma tamsayı doğrusal programlama modeli sunuyoruz. Daha sonra, problemin etkin çözümü için bir Değişken Komşuluk Araması yöntemi geliştiriyoruz. Geliştirilen yöntemi Ankara'ya ait veriler üzerinde uygulayarak performansını sınıyor ve elde edilen sonuçları sunuyoruz.

Anahtar Kelimeler: Paylaşımlı mikromobilite, kentsel mobilite, elektrikli skuter, elektrikli bisiklet, şarj istasyonu, değişken komşuluk araması.

* Corresponding author.

E-mail address: msadati@sabanciuniv.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6106-4903

Received 24.07.2022; accepted 28.02.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Introduction

Using road-based (diesel) vehicles that produce CO₂ emissions have caused severe environmental pollution and, consequently, is harmful to human health. Nowadays, many people use internal combustion engine vehicles (ICEVs) in their transportation. However, increasing concerns about climate change have forced many countries to impose stricter emission reduction targets and tighter environmental regulations to restrict the use of ICEVs (Pan et al, 2021). These motivations have accelerated the change toward low-emission and battery electric bikes (e-bikes) and electric scooters (e-scooter) in the mobility transport sector (Figure 1). E-bikes/ e-scooters are fully powered with rechargeable batteries. The E-bikes/ e-scooters with zero tailpipe emissions are classified as clean passenger transportation modes (Jaller et al, 2018). In addition, their maintenance cost is low as they have fewer parts, and they do not need oil changes or air-filter replacements. On the contrary, long recharging times, limited driving range, and limited recharging facility infrastructure restrain their broader adoption in the sector (Giordano et al, 2017).



Figure 1. e-bike and e-scooter (Source: <https://elektriklimotor.com.tr>)

Electric-powered shared micromobility vehicles have offered a favorable resolution to diminish the greenhouse gas effect of a territory's passenger transportation design. It was anticipated that using e-bikes could decrease the usage of ICEV from 84.7% to 74.8%. Similarly, carbon dioxide (CO₂) emissions could decrease by 12%. An individual e-bike could lessen 225 kg of CO₂ per year on average. These analyses reveal that e-bikes have the prospect of aiding municipalities and areas to acquire their environmental objectives. E-bikes/ e-scooters are newly instructed methods rapidly earning attention throughout the U.S. E-bikes can propose a more affordable option instead of using a car for journeys (Popovich et al, 2014). Furthermore, e-bike can give users a satisfactory level of physical exercise intensity required to improve health (Fishman & Cherry, 2016). Using an e-bike/e-scooters is rewarding and entertaining for numerous users, is released for users with limited ability and mobility, and can direct to a car-free household (Popovich et al, 2014).

This paper aims to efficiently consolidate electric-powered shared micromobility vehicles such as e-bikes and e-scooters into hubs to manage their charging and maintenance operations. Therefore, determining the locations of these e-hubs and the required charging infrastructure is of paramount importance for satisfying the needs of the commuters. Using an optimization approach, we address this problem as an e-Hub Location Problem (eHLP) and develop a model for siting and sizing micromobility e-hubs within an urban context. In this problem, we find the optimal sites to build the e-hubs and determine the quantity of charging units at each site to maximize the utilization of the fleet. We first define the notation employed in the optimization model, present the formulation and describe it. Then, we develop Variable Neighborhood Search (VNS) as an alternative solution methodology. Finally, we implement the model and VNS to determine e-hub locations using the commuter data provided by the Ankara Metropolitan Municipality (AMM) transport authorities. The data includes the home and work locations of 120 citizens selected for the pilot implementation.

An optimization solver was employed to solve the formulated mathematical model based on the criteria and parameters set by the AMM authorities. According to the optimal solution obtained, six metro stations were selected as e-hub locations, and 58 chargers were distributed optimally to these e-hubs

according to the expected demand of potential e-bike users. In addition, two chargers were installed at the “Bicycle Campus” of AMM for testing a non-metro station e-hub. Ride data was collected for two weeks to investigate the commuter behavior and effectiveness of the selected locations. Despite the unfavorable winter conditions, the results were promising and supported the e-hub location decisions; however, the collected data reveals that some charging units may be repositioned to enhance service levels.

2. Problem description and formulation

The mathematical notation employed in the formulation of the eHLP is as follows:

Sets:

V	Set of all commuters
S	Set of metro stations

Parameters:

d_{ij}	Distance between commuter $i \in V$ and commuter $j \in V$
D_{max}	Maximum distance between a commuter and hub
a_{ij}	Binary (0-1) coverage parameter (i.e. $a_{ij} = 1$ if $d_{ij} \leq D_{max}$)
b_{sj}	Binary (0-1) parameter represents that the metro station $s \in S$ is the nearest station to the commuter hub $j \in V$
P_h	Maximum number of hubs in districts
P_e	Maximum number of e-hubs in metro stations
P_s	Maximum number of chargers in an e-hub
K	Number of total commuters per charger installed
Q	Maximum number of total available chargers
ε	A sufficiently small constant

Decision variables:

x_j	1 if a commuter hub is located at commuter $j \in V$; 0 otherwise
z_i	1 if commuter $i \in V$ is covered; 0 otherwise
w_s	1 if an e-hub is located in metro station $s \in S$; 0 otherwise
q_s	Number of chargers in metro station $s \in S$
y_{ij}	1 if commuter $i \in V$ is assigned to hub $j \in V$; 0 otherwise
T	Maximum walking distance between a commuter and a hub

The mathematical programming (mixed-integer linear programming) model can be formulated as follows:

$$\max \sum_{i \in V} z_i - \varepsilon \sum_{s \in V} q_s \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{j \in V} a_{ij} x_j \geq z_i \quad i \in V \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V} y_{ij} \leq z_i \quad i \in V \quad (2)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad i, j \in V \quad (3)$$

$$w_s \geq b_{sj} x_j \quad j \in V, s \in S \quad (4)$$

$$T \geq \sum_{j \in V} d_{ij} y_{ij} \quad i \in V \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_j \leq P_h \quad (6)$$

$$\sum_s w_s \leq P_e \quad (7)$$

$$\sum_{i \in V, j \in V} b_{sj} y_{ij} \leq K \times q_s \quad s \in S \quad (8)$$

$$w_s \leq q_s \leq P_s \quad s \in S \quad (9)$$

$$\sum_{s \in S} q_s \leq Q \quad (10)$$

$$x_i, z_i \in \{0,1\} \quad i \in V \quad (12)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in V \quad (13)$$

The objective function (1) maximizes the total number of covered commuters. Constraints (2) is a covering constraint that makes sure the commuter i will be covered by commuter j if $a_{ij} = 1$. Constraints (3) guarantee that if commuter i is assigned to commuter j , then the commuter i must be covered. Constraints (4) make sure that if commuter i is assigned to commuter j , then commuter j will be a commuter hub. Constraints (5) show that if a commuter hub is located at commuter $j \in V$, then an eHub must be located in commuter $j \in V$ nearest metro station $s \in S$. Constraints (6) satisfy the maximum walking distance between a commuter and a hub. Constraints (7) and (8) control the maximum number of hubs in districts and the maximum number of e-hubs in metro stations, respectively. Constraints (9) guarantee that if commuter $i \in V$ is assigned to hub $j \in V$, then at most K chargers can be installed in metro station $s \in S$. Constraints (10) show that if an e-hub is located in a metro station $s \in S$, at least one charger must be installed in the associated metro station. Constraints (11) provide the upper bound on a maximum number of available chargers. Finally, constraints (12)-(13) define the domain of the binary decision variables.

3. Solution methodology

As a solution methodology for solving the eHLP, we use the Variable Neighborhood Search (VNS) of Mladenović and Hansen, 1997. The VNS is used for solving many combinatorial optimization problems (Rincon-Garcia et al, 2017; Affi et al, 2018; Özger, 2022; Sadati et al, 2021; Sadati et al, 2022). The algorithm starts with an initial solution S_0 . Initially, the current solution S' and the incumbent solution S^* are set to $S' = S^* = S_0$. Then, the shaking phase is started using a set of neighborhood structures N_k ($k = 1, \dots, k_{max}$). In this phase, a random solution \bar{S} is generated by implementing the first neighborhood N_1 of S' . Next, the local search phase is applied to obtain a new solution S' . If S' is feasible and improves the incumbent solution S^* , then S^* is replaced with S' and the neighborhood counter k is reset to 1 (i.e., we return to the first shaking neighborhood structure). Otherwise, k is increased by 1 ($k = k + 1$) and the algorithm continues by applying another shaking move on S' . If all neighborhood structures are explored ($k = k_{max}$), the algorithm restarts from the best solution found so far S^* and neighborhood structure index k is re-initialized to 1. This procedure is repeated until a termination condition is satisfied.

3.1. Initial solution construction

We represent the solution with a matrix of different row lengths. In this matrix, the first column shows the ID of the selected hub, and the following columns will show the assigned commuters to the hub. The number of the row will be set to P_h (i.e., the maximum number of hubs in districts) Moreover, depending on those commuters assigned to the associated hub, each row will have a different length. To construct an initial feasible solution S_0 , we initially created a list of assigned commuters for each hub. To do this, we generate another similar matrix M_{cover} with $|V|$ (number of commuters) rows (the first column shows the ID of commuters), and for each row, the ID of other commuters that can be covered is inserted. Note that the ID of inserted commuters at each row will be determined using the coverage parameter a_{ij} ($i, j \in V$). Then we sort the M_{cover} in descending order of rows length (i.e., in the sorted M_{cover} The first row has the highest number of assigned commuters). From the sorted M_{cover} matrix, we select the first P_h rows and insert them into S_0 (since our objective is to maximize the number of coverage commuters). Two or more hubs can cover some commuters, and if such conditions hold, we remove the same ID from S_0 . Note that it is possible that by removing the same ID, the number of rows in S_0 can be decreased due to the empty ID in some hubs. After generating the initial solution, we can extract the opened stations and the number of installed charges using the b_{sj} ($s \in S, j \in V$).

Table 1. coordinates of 47 metro stations in AMM

Metro Station Name	X-coordinate	Y-coordinate
Akköprü	39.9515847010483	32.8341795243818
AKM	39.9443795162620	32.8439087810831
Anadolu	39.9347858951204	32.8369747514223
ASKİ	39.9474217591986	32.8502967868702
AŞTİ	39.9182626438759	32.8143773153182
Bahçelievler	39.9311253339485	32.8201135202388
Batı Merkez	39.9677779745099	32.7154040086390
Batıkent	39.9686637727400	32.7269929199242
Beşevler	39.9323883009931	32.8286182623825
Beytepe	39.9063852532501	32.7333680475345
Bilkent	39.9078366805602	32.7639437564344
Botanik	39.9809540847158	32.6947608271056
Çayyolu	39.8967996302740	32.6915482899637
Demetevler	39.9654526466281	32.7939524664253
Demirtepe	39.9249069837490	32.8482662806608
Dikimevi	39.9323772150356	32.8776683230518
Dutluk	39.9994460923559	32.8706762907213
Emek	39.9230562325935	32.8148175562953
Eryaman 1-2	39.9805249449850	32.6479294929466
Eryaman 5	39.9810459707558	32.6274123399772
Fatih	39.9840807419541	32.5853408380043
Harikalar Diyarı	39.9824908586034	32.5982955507296
Hastane	39.9690627048819	32.7836334840208
İstanbul Yolu	39.9796510179896	32.6625997900486
İvedik	39.9572393334365	32.8170395394222
Kızılay	39.9205573326480	32.8532866498255
Kolej	39.9237378422280	32.8617998007825
Koru	39.8875524691288	32.6869668515318
Kurtuluş	39.9287430485953	32.8696629264171
Macunköy	39.9719016693441	32.7664946547301
Maltepe	39.9319618065686	32.8429415289544
Mecidiye	39.9839457267553	32.8754203880277
Mesa	39.9718396828269	32.7030747030507
Meteoroloji	39.9663328568328	32.8639081878403
Milli Kütüphane	39.9157437767599	32.8270941634899
MTA	39.9090486996796	32.7962690115671
Necatibey	39.9152066084294	32.8437950428813
ODTÜ	39.9080134213928	32.7840959236438
OSB- Törekent	39.9877471686397	32.5586545550208
OSTİM	39.9704130087718	32.7449577876105
Sıhhiye	39.9276909068732	32.8548496799674
Söğütözü	39.9109593942524	32.8077190051603
Şehitler	39.9964196335417	32.8612046321450
Tarım Bakanlığı - Danıştay	39.9072302285182	32.7499858449839
Ulus	39.9396177180966	32.8509547144680
Ümitköy	39.9053448044684	32.7086148273902
Yenimahalle	39.9618983785488	32.8043395557967

3.1. Shaking

In the shaking phase of the proposed algorithm, a random solution is constructed using two types of problem-specific neighborhood structures: γ -AddHub and λ -SwapHub.

The γ -AddHub neighborhood operator is applied when the number of rows in a given solution is less than P_h . To this end, we randomly select γ unused hubs and insert them into the solution by adding their covered commuters. We use three types of γ -AddHub moves and refer to them as 1-AddHub, 2-AddHub, and 3-AddHub.

The λ -SwapHub neighborhood operator is applied for swapping the current hubs in the solution with unused hubs. To this end, randomly λ hubs and their associated covered commuters from the solutions are swapped by randomly unused λ hubs and their associated covered customers. We employ 1-SwapHub, 2-SwapHub, and 3-SwapHub.

3.2. Local search and detecting infeasible solutions

The feasibility of a given solution is measured by considering the maximum number of e-hubs in metro stations (P_e), the maximum number of chargers in an e-hub (P_s), and the maximum number of total available chargers (Q). If a solution is infeasible, we apply the MakingFeasible procedure to make the solution feasible concerning infeasibility terms. The MakingFeasible procedure is called local search in our implementation. It is possible that by applying shaking operators, the generated solution becomes infeasible, and this approach helps to make the solution feasible.

4. Implementation and Results

In this section, we implement the model and VNS to determine e-hub locations using the commuter data provided by the Ankara Metropolitan Municipality (AMM) transport authorities. The data includes the home and work locations of 120 citizens selected for the pilot implementation. An optimization solver (CPLEX Optimization Studio 20.1) was employed to solve the formulated mathematical model based on the criteria and parameters set by the AMM authorities. All experiments were conducted on a computer with Intel Core i7-8700 3.2 GHz CPU and 32 GB RAM. VNS was coded in C# in Microsoft® Visual Studio 2019. The geographical locations of the Home and work selected 120 citizen and metro stations are illustrated in Figure 2. The coordinates of 47 metro stations are provided in Table 1.

The parameters set by the AMM authorities are provided in Table 2.

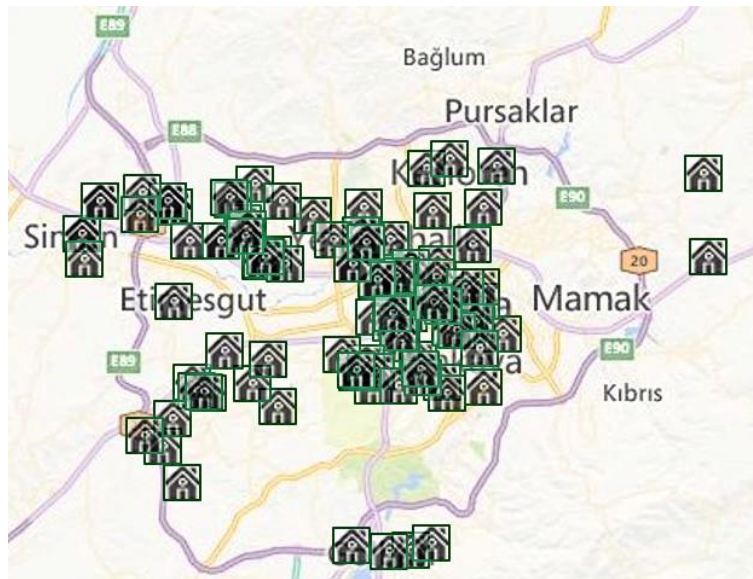
Table 2. Parameters set by the AMM

Walking distance threshold to the station	500 m
Maximum distance between a commuter and hub	500 m
Maximum number of hubs in districts	10
Maximum number of e-hubs in metro stations	10
Number of total commuters per charger installed	10
Maximum number of total available chargers	30

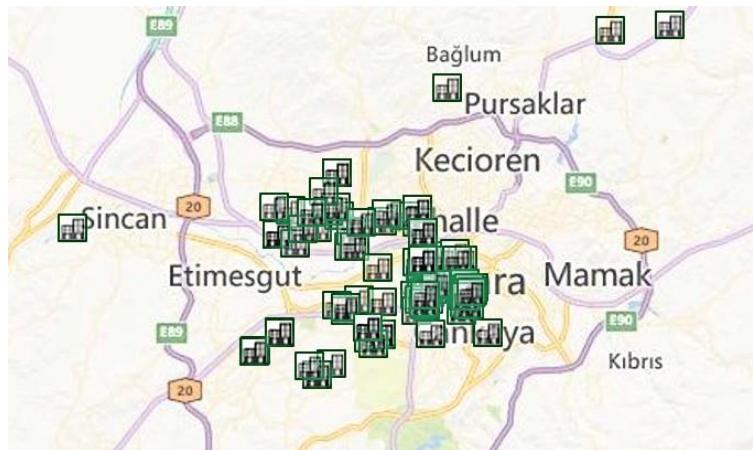
The field trials were performed for three weeks spanning the end of January and the beginning of February 2022, and ride data were collected from seven e-hubs given in Table 3.

Table 3. E-hub locations and numbers of installed chargers

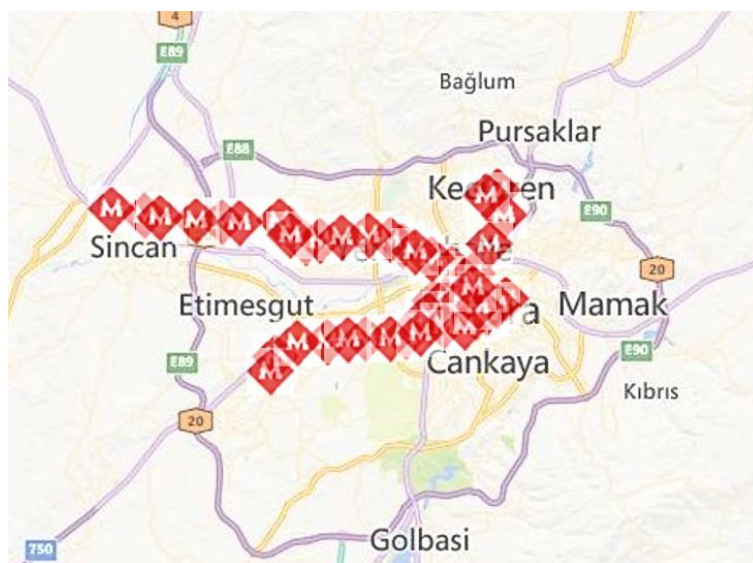
e-Hub Location	Abbr.	No. Charging
Bahçelievler Metro Station	BAH	12
Batıkent Metro Station	BAT	8
Bilkent Metro Station	BIL	14
Bicycle Campus	BIS	2
Kızılay Metro Station	KIZ	8
Koru Metro Station	KOR	8
National Library Metro Station	MIL	8



Home Locations



Work Locations



Metro Station Locations

Figure 2. The geographical locations of the Home and work and metro stations

An interruption during five consecutive days occurred because of harsh weather conditions and below 0 °C ambient temperature levels. Therefore, the data belongs to the net two weeks. Forty-five users performed a total of 230 rides using the magnetic cards provided. We excluded the rides with more than one-minute duration, assuming they do not correspond to actual micromobility trips. The data is summarized in Table 4.

Table 4. Ride data*

From:	To:								Unidentified Attempts
	BAH	BAT	BIL	BIS	KIZ	KOR	MIL	Total	
BAH	19			1	2		10	32	61
BAT		20		4			1	25	8
BIL	2		14	1	3	4	1	25	20
BIS		5		23	3	2	2	35	-
KIZ	3		1	3	32	2	7	48	114
KOR			7	1	1	17		26	24
MIL	8		2	3	10		16	39	44
Total	32	25	24	36	51	25	37	230	271

* Excluding trips < 1 min

Almost 40% of the trips correspond to the Kızılay metro station and Bicycle Campus, whereas only 17% (ten out of 60) chargers were installed in those two e-hubs. Although the trials took place with only 25 e-bikes, the ride data points out a need for repositioning existing chargers and/or installing additional chargers at Kızılay metro station, which is located at the heart of Ankara city center and also at Bicycle Campus, which is a central attraction point for bike commuters. On the other hand, the data shows that the demand at Bahçelievler and Bilkent metro stations was overestimated as 43% of the charging units were installed at these two locations while 25% of the rides took place. The last column in

Table 4 reports the number of attempts to unlock the e-bikes using unidentified magnetic cards and AMM public transportation cards. This data shows the interest of the citizens in this new e-bike sharing system, with 42% occurring in Kızılay, a significant business and entertainment district. The collected ride data is also visualized in Figure 3. In this Figure, the sizes of the circles representing the e-hubs and the widths of the connecting arcs are proportional to the number of trips.

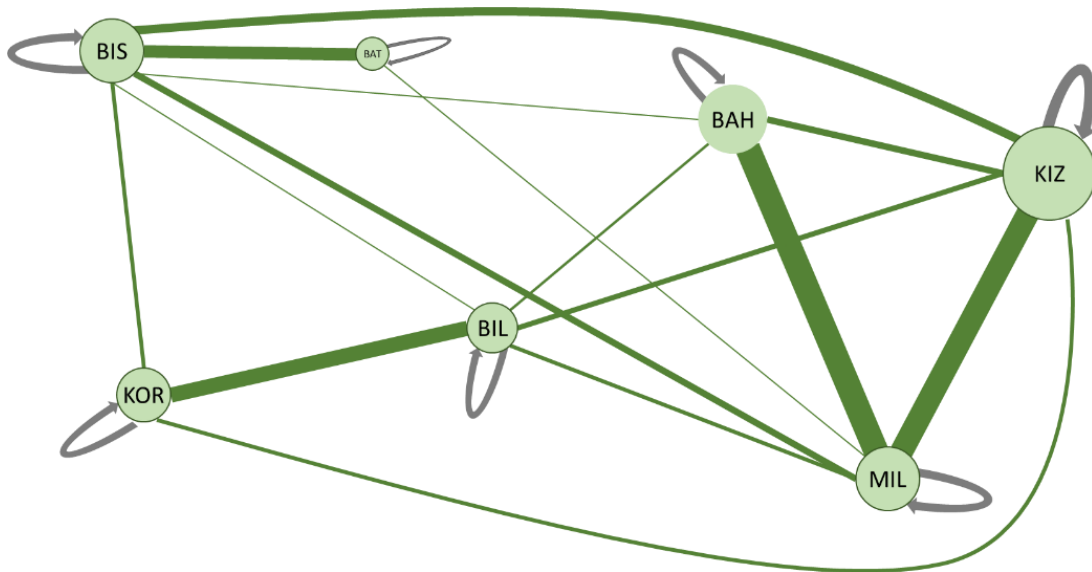


Figure 3. Ride volumes

The number of installed chargers in metro stations is illustrated in Figure 4.

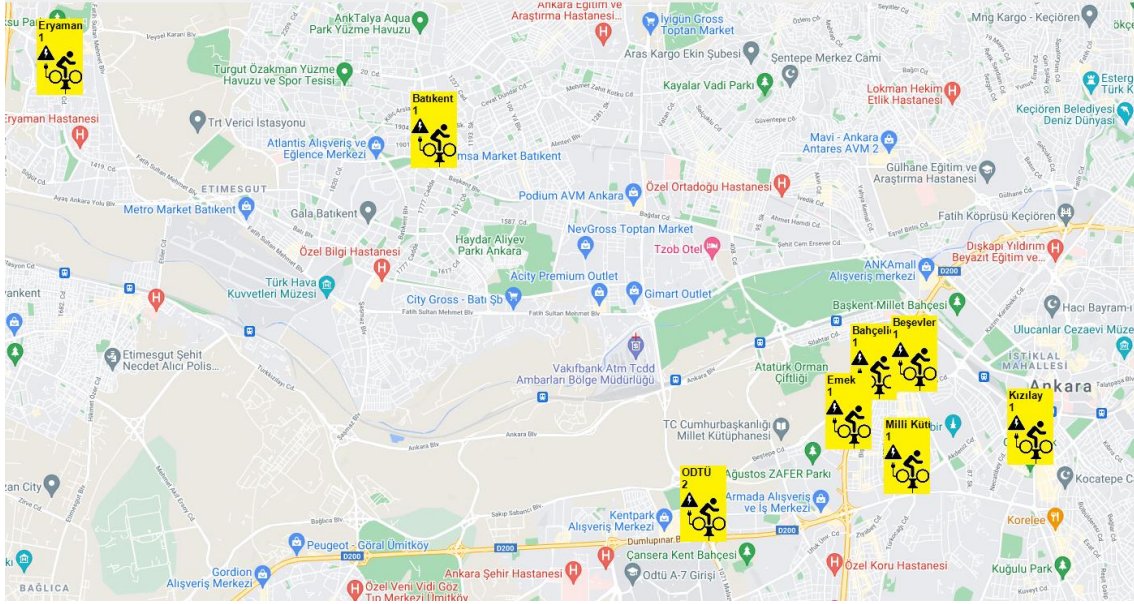


Figure 4. The number of installed chargers in seven metro stations

5. Conclusion

This paper presents the integration of connected micromobility infrastructure into the existing public transport system. The integration purpose was to help organize the public space in the urban environment, lower operation costs for micromobility operators, and create a better Mobility-as-a-Service (MaaS) experience for citizens with the connected and universal Micromobility charging infrastructure solution. Our goal was to efficiently consolidate the electric-powered shared micromobility vehicles into hubs to manage their charging and maintenance operations efficiently. Therefore, determining the locations of these e-hubs and the required charging infrastructure is of paramount importance for satisfying the needs of the commuters. We formulated the problem as a mixed-integer linear programming (MILP) and developed a Variable Neighborhood Search (VNS) metaheuristic algorithm to solve the problem. The evaluation of the performance of the solution methodology was applied using real data from Ankara Metropolitan Municipality (AMM) and comparing our solution with the optimal solution. The pilot trials took place in a short time frame and under unfavorable weather conditions that adversely affected the utilization of the e-bikes. More meaningful and insightful data could have been collected in warm and mild conditions. The collected data support the location decisions. Installation of e-hubs near metro stations and at the Bicycle Campus provided visibility to both users and citizens. It promoted the utilization of e-bikes as an alternative transportation mode to the metro and public road transport. On the other hand, the sizing decisions, i.e., determining the number of charging units at each location, may be revised to enhance the employment of the bike-sharing system. The performance of e-hubs near metro stations and at Bicycle Campus facilitated using e-bikes to replace public transportation and metro transport. On the other side, the sizing options, i.e., calculating how many charging units are located at each location, may be varied to enhance the utilization of the bike-sharing system.

Researchers' Contribution Rate Statement

All research and writing steps belong to the corresponding author.

Acknowledgment and/or disclaimers, if any

This paper is extracted from the project entitled "MeHUB: Integrating a Connected Micromobility Infrastructure to the Existing Public Transport" supported by EIT Urban Mobility. The author would like to thank Prof. Bülent Çatay for the corrections and suggestions that greatly improved the readability of this paper. The author is also grateful to project partners DUCKT and Ankara Metropolitan Municipality (Ankara Büyükşehir Belediyesi) for providing the data used in this study. The authors also thank three anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions.

Conflict of Interest Statement, if any

There is no conflict of interest with any institution or person within the scope of the study.

References

- Affi, M., Derbel, H., & Jarboui, B.** (2018). Variable neighborhood search algorithm for the green vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(2), 195-204. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.6.004>
- Fishman, E., Cherry, C.** (2016). E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research. *Transport Reviews* 36, 72–91,1069907. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069907>
- Giordano, A., Fischbeck, P. and Matthews, H.S.** (2018). Environmental and economic comparison of diesel and battery electric delivery vans to inform city logistics fleet replacement strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.10.003>
- Jaller, M., Pineda, L. and Ambrose, H.** (2018). Evaluating the use of zero-emission vehicles in last mile deliveries. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, *Research Report UCD-ITS-RR-18-48*. <https://doi.org/10.7922/G2JM27TW>
- Mladenović, N. and Hansen, P.** (1997). Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24(11), 1097–1100. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00031-2)
- Özger, A.** (2022). Multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows: Airline and roadway integrated routing. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(3), 435-456. <http://dx.doi.org/10.5267/j.ijiec.2022.1.001>
- Pan, S., Zhou, W., Piramuthu, S., Giannikas, V. and Chen, C.** (2021). Smart city for sustainable urban freight logistics. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2079–2089. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1893970>
- Popovich, N., Gordon, E., Shao, Z., Xing, Y., Wang, Y., Handy, S.** (2014). Experiences of electric bicycle users in the Sacramento, California area. *Travel Behaviour and Society* 1, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2013.10.006>
- Rincon-Garcia, N., Waterson, B., & Cherrett, T.** (2017). A hybrid metaheuristic for the time-dependent vehicle routing problem with hard time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(1), 141-160. <http://dx.doi.org/10.5267/j.ijiec.2016.6.002>
- Sadati, M.E.H., Çatay, B. and Aksen, D.** (2021). An efficient variable neighborhood search with tabu shaking for a class of multi-depot vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 133, p.105269. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105269>
- Sadati, M.E.H., Akbari, V. and Çatay, B.** (2022). Electric vehicle routing problem with flexible deliveries. *International Journal of Production Research*, 60(13), pp.4268-4294. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2032451>

Araştırma Makalesi

Akıllı ulaşım sistemlerinde siber saldırılar ve önlemler

İsa Avcı*

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

*Correspondence: isaavci@karabuk.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1224909

Özet: Teknolojinin kullanımı ve gelişimi ile şehirlerin ana faaliyet alanları olan trafik ışıklarından su dağıtımına, trafik, çevre, sosyal eylemler, sağlık, eğitim, şehircilik, güvenlik ve kamu yönetimine kadar her şeyi kontrol etmek mümkündür. Teknolojinin uygulanması bilgi, veri, donanım ve uygulama güvenliği açısından güvenlik zafiyetleri beraberinde getirmektedir. Bu çalışma, AUS siber güvenlik tehditlerini ve alınması gereken güvenlik önlemlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, AUS iletişimi mimarisi, kullanımı alanları, faydaları ve siber güvenlik açısından saldırı yöntemleri analiz edilmiştir. AUS donanım ve uygulamalarda en çok yaşanan siber saldırılar dağıtık hizmet engelleme (Distributed Denial of Service Attack-DDoS), Ortadaki Adam Saldırısı (Man in the Middle-MitM) ve zararlı yazılım (Malicious Software-Malware) saldırıları yöntemleri yapılan araştırmalarda olarak tespit edilmiştir. Siber güvenlik saldırılarına karşı erişim kontrol yönetimi, güncel uygulama ve güvenlik yazılım kullanımı, kullanıcı eğitimi ve güvenlik donanımların kullanılması alınabilecek tedbirlerin başında gelmektedir. Son olarak, AUS sistemlerinin güvenliğini artırmak için daha önce yaşanan siber saldırılar ve gelecekte yaşanabilecek saldırılar analiz edilerek güvenli modeller incelenmiştir. Güvenli modeller çerçevesinde ülkemizde altyapı ve uygulama açısından en uygun olan modeller incelenerek uygulama ve sistemlere entegre edilmesi önemlidir. Teknolojik açıdan yapay zeka ile geliştirilmiş ve güvenlik algoritmaların uygulandığı saldırı tespit ve önlemek sistemleri kullanılarak sistemler ve uygulamaların güvenliği artırılması gerektiği analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, akıllı şehirler, siber güvenlik

Cyber-attacks and measures in smart transportation systems

Abstract: With the use and development of technology, it is possible to control everything from traffic lights, which are the main activity areas of cities, to water distribution, traffic, environment, social actions, health, education, urbanism, security, and public administration. The application of technology brings security vulnerabilities in terms of information, data, hardware, and application security. This study aims to analyze ITS cyber security threats and security measures to be taken. For this purpose, ITS communication architecture, usage areas, benefits, and attack methods in cyber security are analyzed. The most common cyber-attacks in ITS hardware and applications have been identified as Distributed Denial of Service Attacks (DDoS), Man in the Middle (MitM), and Malicious Software (Malware) attacks methods. Access control management, use of up-to-date application and security software, user training, and use of security hardware are among the leading measures that can be taken against cyber security attacks. Finally, previous and future cyber-attacks were analyzed to increase ITS systems' security, and secure models were examined. Within the framework of safe models, it is important to examine the most suitable models in terms of infrastructure and application in our country and integrate them into applications and systems. It has been analyzed that the security of systems and applications should be increased by using intrusion detection and prevention systems, which have been developed with artificial intelligence in terms of technology and where security algorithms are applied.

Keywords: Intelligent transportation systems, smart cities, cybersecurity

* Corresponding author.

E-mail address: isaavci@karabuk.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7032-8018

Received 27.12.2022; accepted 20.03.2023

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), dünya üzerinde çeşitli politika ve eylem planlarının odak noktası haline gelmiştir. AUS çalışmalarının temelleri incelendiğinde ilk olarak 1960'ların sonu 1970'lerin başında Japonya'da Kapsamlı Otomobil Trafik Kontrol Sistemleri, ABD ve Almanya'da Elektronik Rota Kılavuzluk Sistemi ile başlamıştır. Bu yıllardan sonra ilk olarak 1980'lerin ortasında AUS uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır. Daha sonra 1990 yıllarında akıllı kavşak kontrol sistemleri, yolcu ve sürücü bilgilendirme sistemleri, elektronik ücret toplama sistemleri ve trafik kontrol merkezleri gibi uygulamalar hayata geçirilmiştir. Bu uygulamalar ile devlet ve özel sektör iş birliği başlayarak ortak projeler geliştirilmeye başlanmıştır (Lamssaggad vd., 2021). Uluslararası ölçekte çalışmalar önem kazanmaya başladıktan hemen sonra, 1994 yılında Paris'te ilk AUS kongresi düzenlenmiş ve daha sonra her yıl düzenli olarak farklı bir ülkede bu organizasyonlar yapılmaya devam edilmiştir. Bu tarz etkinlikler ve AUS alanında yapılan akademik çalışmalar neticesinde ortaya çıkan teknolojik gelişmeler, bunun yanı sıra elde edilen bilgi ve ihtiyaçlar doğrultusunda ülkeler kendi AUS organizasyonlarını kurmaya başlamışlardır. Ulusal ölçekte kurulan organizasyonların yanı sıra ERTICO, AUS Amerika, AUS Asya Pasifik gibi bölgesel yapılanmalar da kurulmaya başlanmıştır (Suryadithia vd., 2021).

2015 yılından sonra gelişen teknolojilere bağlı olarak birçok ülke AUS'un ulusal ve uluslararası pazarında pay sahibi olmak amacıyla yoğun olarak çalışmalara başlamıştır. Bu çalışmalar ile birlikte AUS alanında yeni proje çalışmalarının, altyapı ve teknoloji alanında finansal yatırımların artması, devlet desteklerinin her geçen gün güçlenmesi ve ülkelerin kendi oluşturdukları stratejilerine AUS'un doğrudan yansımaları oluşan rekabetin en önemli göstergelerinden olmuştur (Özarpa vd., 2022). Özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan hızlı değişime paralel olarak AUS teknolojileri ve uygulamaları çeşitlenerek farklı alanlarda da yaygınlaşmaktadır. Bu alanlar arasında havayolu, demiryolu, karayolu ve deniz yolu taşımacılık alanları bulunmaktadır.

AUS uygulamalarında telekomünikasyon ve bilgi işlem teknolojileri ulaşım sektörüyle entegre edilmektedir. Bu entegrasyon haberleşme, haritalama, konum belirleme gibi sistemlerin entegre bir şekilde çalışmasını ve AUS'da kullanılan uygulamaların teknik altyapısının olanaklı hale gelmesine imkân tanımaktadır. AUS'da sistemler arasındaki haberleşme; araç-araç (V2V) haberleşmesi, araç-altyapı (V2I) haberleşmesi, altyapı-altyapı (I2I) haberleşmesi ve araç-nesne (V2X) haberleşmesi olarak sınıflandırılmaktadır (Telang vd., 2021).

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU)'nin "Yükselen Teknoloji Eğilimleri Raporu"na göre AUS'da siber güvenlik, yapay zeka, blok zincir, büyük veri, bulut bilişim, akıllı şehir, nesnelerin internet, finansal teknoloji, dijital sağlık ve dijital altyapı özellikle önemlidir. Bu teknolojiler arasındaki siber güvenlik yapay zekâ, blokzincir ve büyük veri gibi hızla gelişen yeni nesil teknolojiler ve bu teknolojilerin sektörel uygulamaları açısından da büyük önem taşımaktadır. Örneğin, yapay zekâ gibi yeni nesil teknolojilerin ve cihazlarının sistemleri ele geçirerek kötüye kullanılmasına karşı koruma sağlayacak çözümlerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Zeba vd., 2022).

AUS açısından son on yıl incelendiğinde bilgisayarların, internetin, taşınabilir akıllı telefonların, tabletlerin ve kablosuz teknolojinin yaygınlaşması ile verilerin kullanılabilirliği, sistem ve cihaz bağlantısı, ve birlikte çalışabilirlik konularında muazzam bir büyümeye gerçekleşmiştir. Bu sistemler artık günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası olmuştur ve bu sistemlere yönelik siber saldırı potansiyeli oldukça artmıştır. Tüm sistemlerin merkezi bir noktadan kontrol edilmesi ve izlenilmesi önemlidir. Gelişen Teknoloji ile birlikte kritik altyapıya sahip sistemleri güvenlik açısından koruma gereksinimi artmıştır. Özellikle AUS birçok teknolojinin bir arada çalışmasını sağladığından saldırılara karşı bu sistemlerin korunması gerekmektedir. Bu hayati sistemleri ve içerdikleri bilgileri korumak için artık siber güvenlik kavramı önem kazanmıştır. Bu çalışmada, AUS iletişimi ve mimarisi, faydaları, AUS' da yaşanan siber saldırılar ve alınması gereken önlemler detaylı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, AUS' da siber güvenlik açısından saldırı vektörleri ve siber saldırı yöntemleri anlatılmıştır.

2. Akıllı ulaşım sistemleri

AUS, bilgi ve iletişim teknolojilerinin ulaşım sistemlerine entegre edilmesidir. Tramvay, otobüs, metro, araba, deniz ve hava ulaşımı, bisiklet ve yayalar dahil olmak üzere sürdürülebilir, güvenli ve birbirine bağlı ulaşım sistemlerini kapsayan bir veya birden fazla biçimi vardır. Akıllı ulaşımın amacı, trafik yönetimi, yol güvenliği ve diğer birçok husus dahil olmak üzere ulaşım sistemine farklı ve daha akıllı

bir bakış açısı sağlamaktır. Taşımacılık hizmetleri, hem kendi sahasında, artan yük ve yolcu taşımacılığına, daha güvenli ve daha çevreci bir odaklanmaya odaklanır. Gelişen AUS uygulamaları özellikle bilgiye hızlı ve verimli bir şekilde ulaşılmasını sağlayarak, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan sürdürülebilir çözümler üretmektedir (Tufan, 2014). AUS genel olarak incelendiğinde araçlar, trafik akış kontrolü, karayolu raporlama sistemi, ödeme uygulamaları, yönetim uygulamaları, iletişim uygulamaları, şehir yönetimi, enerji yönetimi vb. sistemleri kapsamaktadır. Bu sistemler AUS uygulamalarını oluşturan en temel sistemlerdir ve bu sistemler Şekil 1’de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Akıllı ulaşım sistemi (UAB, 2023)

2.1. AUS uygulamalarının faydaları

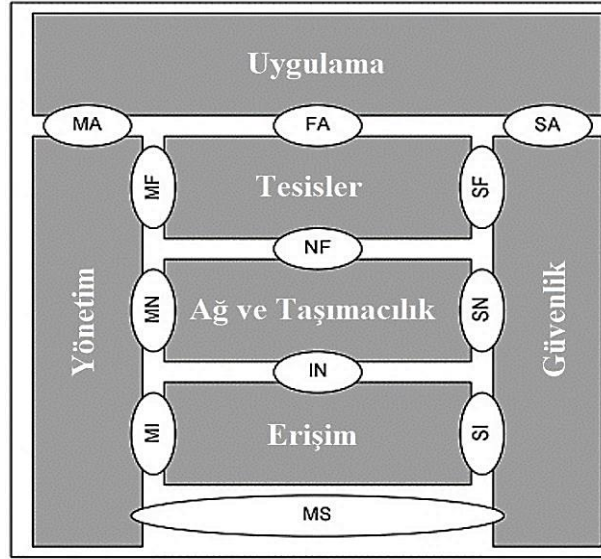
Gelişmiş ulaşım sistemlerinin sağladığı faydaların beraberinde getirdiği dezavantajları ortadan kaldırmak veya azaltmak için ulaşım sistemlerinin daha verimli, çevre dostu, güvenli, ekonomik bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla AUS kavramı ortaya çıkmıştır (Katanalp, et al. al., 2018). Gelişen teknoloji ile birlikte yaygınlaşan AUS uygulamalarının faydalarının birçok faydası bulunmaktadır ve AUS’un en önemli faydaları aşağıda verilmiştir.

- Düşük CO2 emisyonu,
- Azaltılmış trafik kazası,
- Azaltılmış ulaşım süresi,
- Azaltılmış trafik sıkışıklığı,
- Alt yapı sorunlarının giderilmesi,
- Çevre dostu sistemlerin geliştirilmesi,
- Toplu taşımaya yönelimin artırılması,
- Yolların kapasiteye uygun kullanımı,
- İnsan-araç-altyapı-veri merkezi arası çok yönlü veri alışverişinin sağlanması,
- Hareketliliği artırmak için altyapının oluşturulması,
- Sürücü güvenliğini ve kaza yönetimini iyileştirmek,
- Transitte üstünlüğü olan araçlara öncelik verilmesi,
- Trafik yoğunluğunun belirlenmesi,

- Farklı sistemler arası veri entegrasyonu,
- İnsanların yaşam kalitesinin yükseltilmesi.

2.2. AUS istasyon iletişimi referans mimarisi

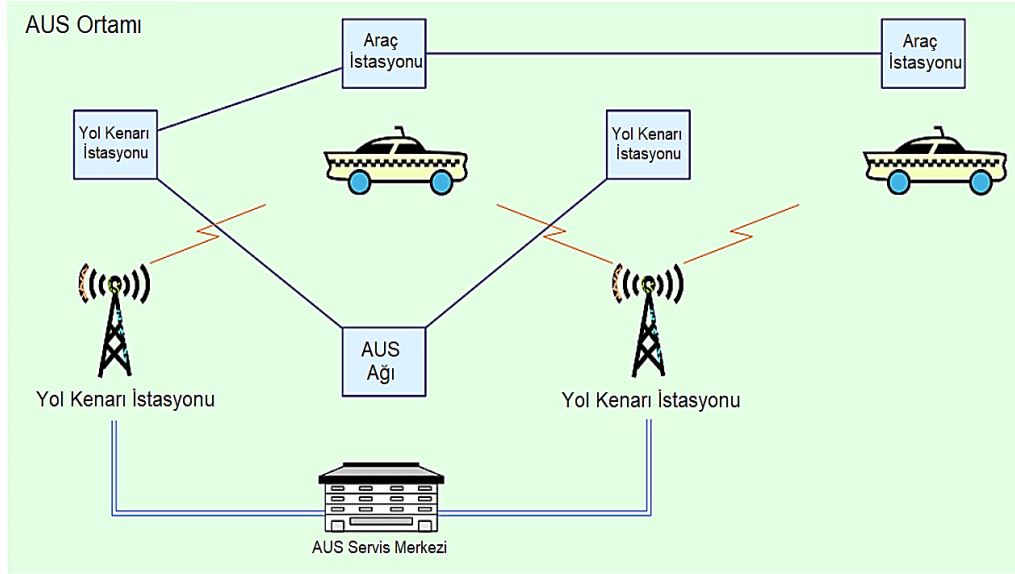
AUS referans mimarisi ETSI EN 302 663' de aşağıdaki şekilde tanımlanan dört işleme katmanına dayanan bir AUS istasyon mimarisini tanımlamaktadır (ETSI 302 663, 2022). AUS mimarisi OSI referans modeli temel alınarak 4 katmandan oluşmaktadır. Bunlar erişim katmanı, ağ ve taşıma katmanı, tesisler katmanı ve uygulama katmanlarıdır. Şekil 2'de AUS istasyon referans mimarisi gösterilmiştir.



Şekil 2. AUS İstasyon referans mimarisi (EN 302 665, 2022)

EN 302 665 standardına göre AUS istasyon iletişim referans mimarisinin erişim katmanında gruplandırılmış OSI fiziksel katmanını ve veri bağlantı katmanını tanımlamaktadır. Avrupa'da farklı frekans bantları için önceden ağ kurulumu olmaksızın mobil istasyonlar arasında veri alışverişini destekleyen ITS-G5 iletişim sisteminin bir parçasıdır. ETSI 302 663 göre ilgili frekans aralıkları aşağıda verilmiştir (ETSI 302 663, 2022):

- ITS-G5A: 5.875 GHz-5.905 GHz frekans aralığında güvenlikle ilgili uygulamalar için AUS'da ayrılmış frekans bantlarıdır.
- ITS-G5B: 5.855 GHz-5.875 GHz frekans aralığında AUS güvenlik dışı uygulamalarına ayrılmış Avrupa AUS frekans bantlarıdır.
- ITS-G5D: 5.905 GHz – 5.925 GHz frekans aralığında AUS uygulamaları için çalışma frekans aralıklarıdır. ITS-G5 teknolojisi, IEEE 802.11-2012 ve IEEE/ISO/IEC 8802-2-1998 standartlarını temel almaktadır.



Şekil 3. AUS iletişim ortamının görünümü (ETSI TR 102 638 ITS BSA, 2009).

AUS iletişimi mimarisi, ulaşım altyapısını ve ulaşım araçlarını (araba, tren, uçak, gemi) verimli ve güvenli bir şekilde kullanmak amacıyla mal ve insan taşımacılığını bilgi ve iletişim teknolojileri ile destekleyen sistemlerdir. Şekil 3’de AUS iletişim ortamının görünümü, araç ve yol kenarı istasyon haberleşme örneği gösterilmiştir. AUS uygulamaları açısından iletişim davranışları incelendiğinde kullanımı örnekleri, adresleme tipi, atlama metodu, frekans, yön ve oturum durumları Tablo 1’de detaylı olarak gösterilmiştir. Bu bilgiler, belirli AUS uygulamaları kategorisini tanımlamaktadır. Örnek olarak, işbirlikçi farkındalık, statik yerel tehlike uyarıları, etkileşimli yerel tehlike uyarıları, alan tehlike uyarıları, reklamı yapılan hizmetler, yerel yüksek hızlı tek noktaya yayın hizmetleri, yerel çok noktaya yayın hizmetleri, düşük hızlı tek noktaya yayın hizmetleri ve dağıtılmış (ağ bağlantılı) hizmetlerdir.

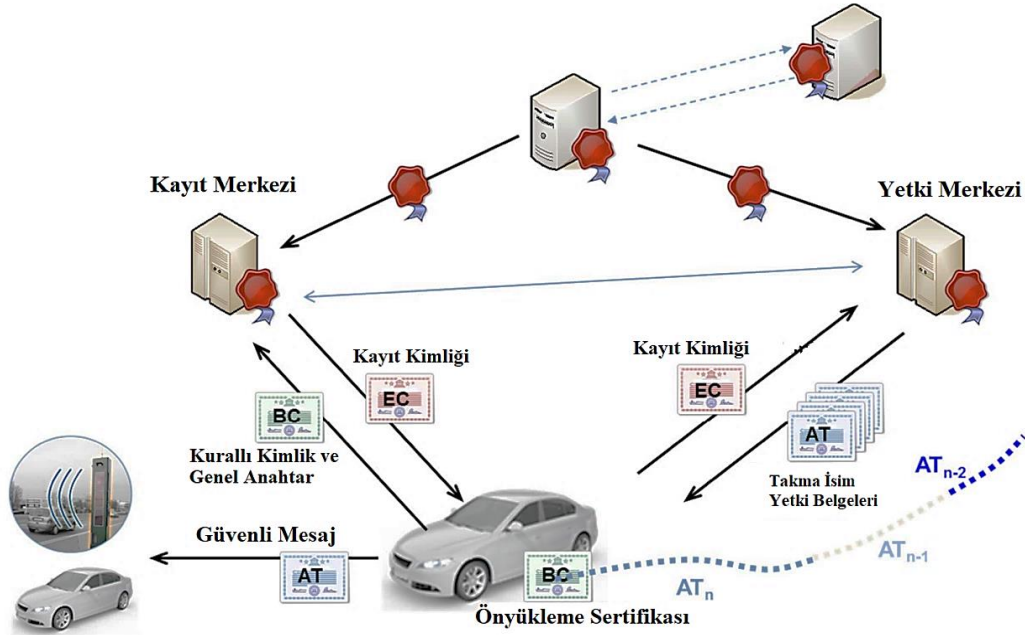
Tablo 1. AUS uygulamaları iletişim davranışı

Kullanım Örneği	Adresleme	Atlama	Frekans	Yön	Oturum
Acil araç uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V/V2I	Hayır
Yavaş araç göstergesi	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V	Hayır
Çapraz trafik dönüşü çarpışma riski uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V	Hayır
Birleştirme Trafik Dönüşü Çarpışma Riski Uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V/I2V	Hayır
Kooperatif birleştirme yardımı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V/I2V	Hayır
Kavşak çarpışma uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V/I2V	Hayır
İşbirlikçi önden çarpışma uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V	Hayır
Şerit Değiştirme Manevrası	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V	Hayır
Acil durum elektronik fren lambaları	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V	Hayır
Yanlış yönde sürüş uyarısı (altyapı tabanlı)	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
Duran araç- kaza	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V/V2I	Hayır
Duran araç- araç sorunu	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V/V2I	Hayır
Trafik durumu uyarısı	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V/I2V	Hayır
Sinyal ihlali uyarısı	Broadcast	Tek	Yüksek	I2V	Hayır
Yol çalışması uyarısı	Broadcast	Çoklu	Düşük	I2V	Hayır
Merkezi olmayan gezici araba verileri- Tehlikeli konum	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V/I2V	Hayır

Merkezi olmayan gezici araba verileri- Yağışlar	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V	Hayır
Merkezi olmayan gezici araba verileri- Yol tutuşu	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V	Hayır
Merkezi olmayan gezici araba verileri- Görünürlük	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V	Hayır
Merkezi olmayan gezici araba verileri- Rüzgâr	Broadcast	Çoklu	Düşük	V2V	Hayır
Hassas yol kullanıcısı uyarısı	Broadcast	Tek	Düşük	V2V/I2V	Hayır
Çarpışma öncesi algılama uyarı- Göstergesi	Broadcast	Tek	Yüksek	V2V	Hayır
Çarpışma öncesi algılama uyarı-Veri alışverişi	Unicast	Tek	Yüksek	V2V	Evet
Kooperatif parlama azaltma	Broadcast	Tek	Düşük	V2V/I2V	Hayır
Düzenleyici/bağlamsal hız sınırları bildirim	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
Yamaç/Eğri Uyarı	Broadcast	Tek	Orta	I2V	Hayır
Trafik ışığı optimum hız tavsiyesi	Broadcast	Çoklu	Orta	I2V	Hayır
Trafik bilgisi ve önerilen güzergâh-Reklam	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
Trafik bilgisi ve önerilen güzergâh-Hizmet	Unicast/Multicast	Çoklu	Orta	I2V	Evet
Toplu taşıma bilgileri-Hizmet	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
Toplu taşıma bilgileri-Reklam	Multicast	Çoklu	Orta	I2V	Evet
Araç içi ekran	Broadcast	Tek	Orta	I2V	Hayır
İlgi çekici nokta bildirim-Reklam	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
İlgi çekici nokta bildirim-Hizmet	Multicast	Tek	Düşük	I2V	Evet
Otomatik erişim kontrolü ve park yönetimi-Reklam	Broadcast	Tek	Düşük	I2V	Hayır
Otomatik erişim kontrolü ve park yönetimi-Hizmet	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
ITS yerel elektronik ticaret	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Medya indirme	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Sigorta ve finansal hizmetler	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Filo yönetimi	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Yükleme bölgesi yönetimi	Unicast/Multicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Hırsızlıkla ilgili hizmetler/Hırsızlık sonrası araç kurtarma	Unicast	Çoklu	Düşük	I2V/V2I	Evet
Araç yazılımı/veri sağlama ve güncelleme	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet
Araç ve RSU veri kalibrasyonu	Unicast	Tek	Düşük	I2V/V2I	Evet

2.3. AUS iletişim güvenliği mimarisi ve güvenlik yönetimi

AUS iletişim güvenliği ve güvenlik yönetimi açısından uluslararası standartlar referans alınmaktadır. En önemli güvenlik sorunlarından biri siber güvenlik açısından AUS uygulamaları ve sistemlerinin korunmasıdır. Bu konuda Avrupa İletişim Standart Enstitüsü olan ETSI (European Telecommunications Standards Institute) güvenli bir model önermektedir. Bu model ETSI 102 940 iletişim güvenlik mimarisi ve yönetimi adlı standart ile detayları belirtilmiştir. Bu standart iletilen bilgilerin korunması ve temel güvenlik parametrelerinin yönetimi için bir dizi güvenlik hizmetinin rollerini ve durumlarını tanımlamaktadır. Bunlar, tanımlayıcı ve sertifika yönetimini, Açık Anahtar Altyapısı (Public Key Infrastructure-PKI) süreçlerini, arayüzlerini ve güvenlik oluşturulmasına yönelik temel ilkeleri ve yönergeleri içermektedir (ETSI 102 940, 2022). Şekil 4'te ETSI 102 940 standardında oluşturulmuş olan AUS güvenli iletişim modeli gösterilmiştir.



Şekil 4. ETSI AUS güvenli iletişim model (ETSI 102 940, 2022).

3. AUS ve siber güvenlik

Son on yıl içinde bilgisayarların, internetin ve kablosuz teknolojinin yaygın bir şekilde kullanımı artmıştır. Bu sistemler günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline geldikçe, bu sistemlere yönelik saldırı potansiyeli de artmaktadır. Siber güvenlik, bu hayati sistemleri ve içerdikleri bilgileri korumayı sağlar. Siber terörizm riskinin artması, yalnızca kurumsal veya sivil verileri etkilemekle kalmıyor, aynı zamanda güvenlik açısından bir tehdit unsurudur. 2019'da Avrupa Birliği Ağ ve Bilgi Güvenliği Ajansı (ENISA), ulaşım sektörüyle ilgili olarak siber güvenlik için Avrupa Birliği (EU) yasal çerçevesi hakkında endişelerini dile getirmiştir. AUS uluslararası siber güvenlik konularında özel sektör firmaları ve kamu sektörü kuruluşlarının yanı sıra aşağıdaki kuruluşlar siber güvenlik araştırmalarında ortak çalışmalar yapılmaktadır (Markovčić Kostelac, 2019; ENISA, 2022).

- Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü,
- İç Güvenlik Departmanı,
- Savunma Bakanlığı,
- Enerji Bölümü,
- Federal Karayolu İdaresi,
- Federal Motorlu Taşıtlı Güvenliği İdaresi,
- Federal Transit İdaresi,
- Ulusal Karayolu Trafik Güvenliği İdaresi,
- Avrupa Birliği Ağ ve Bilgi Güvenliği Ajansı (ENISA),
- ISO/IEC 27000 Bilgi Güvenliği Standartları Ailesi
- İnternet Güvenliği Merkezi (CIS) kontrolleri ve kıyaslamaları,
- Çok Devletli Bilgi Paylaşımı ve Analiz Merkezi.

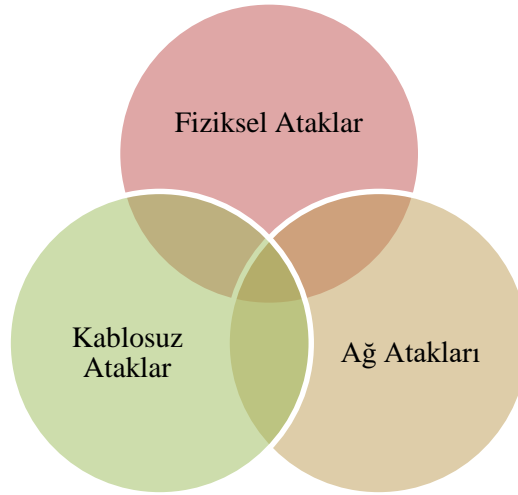
3.1. AUS siber saldırı metotları

AUS'a yapılan siber saldırılar kurumlara, hükümetlere ve kritik altyapılara saldırılar ile benzer özellikleri taşımaktadır. Bu durum AUS altyapısının güvenli olmasının kolay olduğu izlenimi verse de, gerçekte bu durum çok kolay olmamaktadır. AUS ekosistemi her gün gelişmekte ve buna paralel olarak siber saldırı vektörleride o derece farklılaşmaktadır. Böylece AUS altyapılarını siber saldırılara karşı koymak oldukça güç hale gelmektedir. AUS ekosistemlerine yapılan siber saldırılar genellikle finans

açısından değil saldırıların etkisinin yüksek olması ve herkes tarafından duyularak itibar kayıplarının yaşanması hedeflenmektedir. Bu tarz olaylar da birçok saldırganı harekete geçirmek için yeterli durum olmaktadır. AUS ekosistemlerine yapılan siber saldırıların ilk 5 amacına bakıldığında DDoS, MitM, fidye, veri hırsızlığı, bilgi savaşı ve terörizm olduğu görülmektedir. AUS ekosisteminin öne çıkan önemli bileşenleri araçlar, otoyol raporlama sistemleri, trafik akış kontrolü, ödeme sistemleri yönetim uygulamaları ve sistemleri, iletişim uygulamaları ve sistemleri kötü niyetli saldırganların hedef noktaları olarak tespit edilmiştir. AUS siber saldırı tehditleri araştırıldığında en çok yaşanan siber saldırı tehditleri aşağıdaki gibidir (Mikhalevich, 2022; Freng vd., 2022; Gaurav vd., 2022, Trendmicro, 2022; Avcı, 2021):

- Gizlice dinleme yapma,
- Hırsızlık,
- Sistem ayarlarını kurcalama/değiştirme,
- Yetkisiz kullanım/erişim,
- Dağıtılmış hizmet reddi saldırısı,
- Ortada adam saldırısı,
- İtibar kaybı,
- Donanım arızası,
- Operatör/kullanıcı hatası,
- Yazılım hataları,
- Kullanıcı desteğin sona ermesi/eskime,
- Doğa olayları,
- Çevresel ve fiziksel olaylar.

AUS siber güvenlik saldırıları açısından araştırıldığında sistemleri tehdit eden üç çeşit saldırının olduğu görülmektedir. Bu saldırılar ağ saldırıları, kablosuz saldırılar ve fiziksel saldırılardır. AUS’ da yaşanmış ve yaşanabilecek siber saldırılar incelendiğinde en tehlikeli saldırıların ağ saldırıları olduğu görülmektedir (Trendmicro, 2022). AUS siber atak vektörleri Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. AUS siber atak vektörü (Trendmicro, 2022).

3.2. AUS Dünya genelinde yaşanan siber olaylar

23 Mayıs 2016’da Teksaslı bir saldırgan otoyol tabelasını hackleyerek şaka olarak "Drive Crazy Yall" yazmıştır. Bu saldırıyı yapan kişi tespit edilerek tutuklanmıştır. Bu saldırgan, tabela için giriş bilgilerini tahmin ettiğini ve yolda yol yapım çalışma olmasından dolayı araçları uyarmak için orijinal mesajı sildiğini açıklamıştır. Ayrıca, bu saldırıda şaka mesajını mizahi amaçlarla yazdığını itiraf ettiği belirtilmektedir. Şekil 6’da saldırıya uğramış trafik mesaj panosu detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Saldırıya uğramış trafik mesaj panosu (Realeclear, 2022).

6 Haziran 2016 tarihinde Dallas eyaletinde mesaj panoları haklenerek Donald Trump, Bernie Sanders ve Harambe hakkında panolara mesaj olarak “Gorilla deserved” yazısı yazılmıştır. Teksas Ulaştırma Bakanlığı, saldırıya uğramış bu mesaj panolarının özel yüklenici firmaya ait olduğunu belirtmiştir. Şekil 7’de Washington’da saldırıya uğramış trafik mesaj panosu detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 7. Saldırıya uğramış trafik mesaj panosu (Washington Post, 2022).

26 Kasım 2016 tarihinde, San Francisco Belediye Ulaştırma dairesinin (MUNI), bilgisayar korsanının mesajını sistemlerinde görüntüleyen bir kripto fidye yazılımı saldırısına uğramıştır. Mesaj, HDDCryptor gibi kötü amaçlı yazılım (Malware) türevlerine sahip bir saldırı olduğu tespit edilmiştir. Bu mesajla birlikte Muni metro istasyonlarındaki ücret ödeme makinelerinde “Hizmet Dışı” mesajı görülmüştür. Yolculardan ücret alamayan MUNI, yolcuların ücretsiz olarak seyahat etmelerine izin vermiştir. Şekil 8’de güvenliği ihlal edilmiş otomatik ücret ödeme sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 8. Güvenliği ihlal edilmiş otomatik ücret ödeme sistemleri (Sfexaminer, 2022).

27 Ocak 2017 tarihinde, Washington Post, Washington'da polis gözetim kameralarından veri kaydeden depolama cihazlarının %70'ine, Başkan Donald Trump'ın göreve başlamasından sekiz gün önce bilgisayar korsanları tarafından fidye yazılımı saldırısı yapılmıştır. Bu fidye yazılımı saldırısı (ransomware) yerel polisi 12-15 Ocak tarihleri arasında kameraları kayıt yapamaz hale getirdiği ve saldırı 187 ağ video kaydedicisinden 123'ünü etkilemiştir (Sputniknews, 2022).

21 Nisan 2017 tarihinde RP Online tarafından, Rheinbahn'ın (Düsseldorf, Almanya'daki toplu taşıma şirketi) seyahat yönlendirme ve zamanlama sisteminde planlı bir çalışmada uygulama ve sistem güncellemesinde hata meydana geldiği belirtilmiştir. Bu hata sonucunda otobüs ve tren hizmetlerinde büyük gecikmelere ve iptallere yol açıldığı görülmüştür. Bu nedenle halkın yolculukta problem yaşamasına neden olduğu belirtilmiştir. Bu olay sonucunda 80'den fazla rotada toplam 832 araç etkilenmiştir. Böylece, araçlarda bazı seferler iptal edilmiş ve bazı araçlar geri dönmek zorunda kalmıştır. Bu bir AUS siber saldırısı olmasa da, bu tür olayların benzer şekilde olumsuz sonuçları olabileceğini açıkça göstermektedir (Report-d, 2022).

13 Mayıs 2017 tarihinde Radio Liberty tarafından, Rus Demiryolları bilgisayarlarına WannaCry fidye yazılımının bulaştığını belirtilmiştir. WannaCry, ilk saldırıdan hemen sonra bir gün içinde 150 ülkede 200.000'den fazla bilgisayara bulaştığı belirtilmektedir. Rus Demiryolları, saldırının local olduğunu ve demiryolu taşımacılığının etkilenmediğini bildirmiştir. The Telegraph, WannaCry'nin Alman tren istasyonlarına etkilediğini ve yolcu bilgi monitörlerinin fidye penceresini görüntülediğini bildirdi. Deutsche Bahn, "Bir Truva atı saldırısı nedeniyle çeşitli alanlarda sistem arızaları var" dedi. WannaCry, yama uygulanmamış sistemleri yaymak ve bulaştırmak için bir SMB güvenlik açığından (MS17-010) yararlanan ve şifre çözme için bitcoin olarak 300 \$ fidye talep eden bir fidye (ransomware) yazılımıdır. Bir hafta içinde ödeme yapılmadığı takdirde sistemdeki tüm şifreli dosyalar silinir mesajı verilmiştir. Windows'un yamasız veya daha eski sürümlerini çalıştıran herhangi bir kuruluş, WannaCry'nin kurbanı olması kaçınılmazdır. Şekil 9'da Deutsche Bahn tren istasyonunda WannaCry saldırısı ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 9. Deutsche Bahn tren istasyonunda WannaCry saldırısı (Telegraph, 2022).

4 Ağustos 2017 tarihinde Autoblog tarafından, bir grup üniversite araştırmacısı sokak tabelalarına çıkartma etiketler yapıştırarak sürücüsüz arabaları nasıl hackleyecekleri duyurulmuştur. Araştırmacılar, kendi kendini süren arabalarda görüş sistemleri tarafından kullanılan görüntü sınıflandırma algoritmalarını analiz edilerek makine öğrenimi modellerini yanlış yorumlamaları için farklı etiketler kullanarak sokak işaretlerini görsel olarak manipüle etmişlerdir. Bir örnek çalışmada, otonom bir arabanın görüş sistemini kandırarak bunun yerine bir “DUR” (STOP) işaretini saatte 45 mil işareti olarak okuması için çıkartmalar kullandılar. Bu tür basit saldırıların sonuçları gerçek dünyada büyük maddi hasarlara ve hayati tehlikelere neden olabilmesi mümkündür. Şekil 10’da trafik işaretlerini manupule edilmesi örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Trafik işaretlerini manupule etmek (Autoblog, 2022).

4 Ağustos 2017 tarihinde, Kaliforniya’da birden fazla otoyol mesaj panosu siber saldırıya uğramıştır. Saldırganlar tarafından yayınlanan mesajlar şunları içerir: "Trump'ta uçuk var" ve "Dikkat Asyalı sürücüler." Bu olayda, elektronik mesaj panosu bir parola kullanılarak güvenlik hale getirildiği, ancak bilgisayar korsanları yine de parolayı ele geçirerek mesajlarını yayınlamayı başardıkları açıklanmıştır. Bunlar şaka olsa da sürücülerin dikkatini dağıtabilir ve yol güvenliğini tehlikeye atması mümkündür. Şekil 11’de bir saldırıya uğramış otoyol mesaj panosu gösterilmiştir.



Şekil 11. Saldırıya uğramış otoyol mesaj panosu (Fox40, 2022).

3.3. AUS siber saldırılara karşı alınması gereken önlemler

AUS donanım ve uygulamaların çevresinde fiziksel güvenlik önlemleri başta olmak üzere birçok önlemler aynı anda uygulanmalıdır. Bu tarz alanlara yetkisiz personellerin girişlerinin engellenmesi ve rol bazlı yetki erişim sisteminin uygulanması önemlidir. Kullanılmayan ve yazılımları güncel olmayan cihazlar mutlaka tesislerden uzaklaştırılmalıdır ve kullanılmamalıdır. Özellikle ağ segmentasyonu, güvenlik sıkılaştırması, IP bazlı gruplama yapılması, katmanlar arasında güvenlik duvarlarının kullanılması, IPS ve IDS sistemlerinin temin edilmesi, uygulama yama yönetimi ve log yönetimi vb. birçok konuda gerekli önlemlerin alınarak güvenlik bir koruma gerçekleştirilmesi mümkündür. Ayrıca, yapay zeka tabanlı saldırı önleme sistemleri kullanılması daha fazla koruma sağlayacaktır. Aşağıda

alınabilecek önlemler sıralanmıştır (Zhang vd., 2022; Kukkala vd., 2022; Srivastava vd., 2022; Falahati ve Shafiee, 2022). Tablo 2’de AUS’da siber güvenlik açısından alınacak önlemler ve uygulama alanları gösterilmiştir.

Tablo 2. AUS uygulamaları iletişim davranışı

Alınacak Önlemler	AUS Uygulama Alanı
Sanal özel ağların kullanımı	Ağ uygulamaları
Verilerin şifrelenmesi	Sunucu ve bilgisayar
Çok faktörlü kimlik doğrulama	Tüm uygulamalar
Ağ saldırı tespit sistemlerinin kullanılması	Ağ uygulamaları
Fiziksel korumanın devreye alınması	Tüm ağ ve donanımlar
Erişim kontrolü	Tüm uygulamalar ve sistemler
Alarmlar ve 7/24 izleme	Tüm uygulamalar ve sistemler
Bir bilgi güvenliği politikasının uygulanması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Etkinlik günlüklerinin oluşturulması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Yedekleme ve bakımı	Tüm uygulamalar, donanım ve sistemler
Düzenli denetim yapılması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Kapatma prosedürleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
KPI'ların izlenmesi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Donanım yedekliliği	Tüm donanımlar
Bakım planlaması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Müdahale ekipleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Kalite güvencesi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Raporlama prosedürleri	Tüm raporlama sistemleri
Hata ayıklama prosedürleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Etkinlik günlüklerinin oluşturulması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Operatör/kullanıcı eğitimi	Tüm kullanıcılar
Farkındalık eğitimleri	Tüm kullanıcılar
Standart ve prosedürlerin takibi	Tüm kullanıcılar
Yanıt prosedürleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Hata günlükleri	Tüm uygulamalar ve ağlar
Donanım/yazılım arızalarının teşhisi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Olay raporlama sistemi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Düzenli olarak altyapıların yenilenmesi	Altyapı sistemleri
Güvenlik açısından dayanıklılığın artırılması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Cihaz özelliklerinin uzaktan devre dışı bırakılması	Ağ uygulamaları ve sunucular
Acil durum bakım ekipleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Cihaz güvenlik sıkılaştırması	Ağ ve donanım
Erken uyarı sistemleri/tahmin	Tüm uygulamalar ve sistemler
Olağanüstü durum kurtarma süreçleri/merkezleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Altyapı tehdit değerlendirmeleri	Tüm uygulamalar ve sistemler
Risk yönetimi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Yama yönetimi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Log yönetimi	Ağ uygulamaları ve sunucular
Varlık yönetimi	Tüm uygulamalar ve sistemler
Uygulama lisans yönetimi	Tüm uygulamalar
Siber istihbarat servislerinin kullanılması	Tüm uygulamalar ve sistemler
Güvenlik duvarı kullanılması	Ağ ve uygulamalar

4. Sonuç ve tartışma

Modern ulaşım sistemleri sürekli gelişmekte ve akıllı sistemler olması nedeni ile birden çok faydalar sağlamaktadır. AUS teknolojisi, yeni yollar inşa etmek yerine, belediyelerin yeni yol altyapısı inşa etme maliyetinin çok altında bir oranda mevcut yolların kullanımını önemli ölçüde artırmaya olanak tanımaktadır. Şehirlerimizin altyapısında dijitalleşme ve birbirine bağlanabilirlik daha belirgin hale geldikçe, siber terörizmin yükselişi, farklı türden akıllı ulaşım sistemlerine yönelik tehditler oluşturmaktadır. AUS'un bağlantılı otomasyon sistemlerine sahip olması yenilik ve rahatlık için yeni fırsatlar sunarken, aynı zamanda saldırı yüzeyini genişletebilir ve kötü niyetli saldırganların yararlanabileceği yeni fırsatlar sağlayabilmektedir. Bu fırsatlar genellikle kullanıcıların, şirketlerin ve ülkelerin itibar ve finans kayıplarına neden olmaktadır. Mevcut geleneksel çok katmanlı AUS mimarisi artık siber güvenlik tehditlerine karşı koyamaz durumdadır. Siber terörizm tehdidi altında üç ana zorluk tespit edilmiştir: zayıf güvenlik farkındalığı, güvensiz veri alışverişi, AUS varlık yönetiminin yapılamaması ve rol bazlı yetkilendirmede yaşanan karmaşıklıklardır.

AUS'un ulusal ve uluslararası ihtiyaçlar açısından doğrudan atılan ilk adım 2014 yılında Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve 2014-2016 Eylem Planı'dır. AUS alanında atılan bir diğer önemli çalışma ise 2020 yılında hazırlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı'dır. Bu çalışmalar ile bir önceki çalışmalarda bulunan eksiklikler giderilerek daha kapsamlı bir strateji planı hazırlanması hedeflenmiştir. Bu planlar sayesinde, diğer ülkeler ile rekabet edebilmek ve AUS'a ayak uydurabilmek mümkündür. Bu çalışmalarda AUS'un geliştirilmesine yönelik Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu bütün bilgiler yer almaktadır. Dünya ve Türkiye AUS yatırımları ve uygulamaları gelecek yıllarda oldukça önem arz edecektir (Tektaş ve Tektaş, 2019b).

Bu çalışmada, AUS iletişimi mimarisi ve katmanları, siber güvenlik açısından tehditler ve güvenlik açıkları analiz edilmiştir. Bu güvenlik sorunlarının temel nedenlerini belirlemek için yapılan çalışmalar ve uluslararası standartlara dayalı olarak AUS'daki güvenlik sorunları belirlenmiştir. Ayrıca, mevcut güvenlik çözümlerinin tasarımındaki eksik güvenlik öğelerini belirlemek için olası saldırıları da araştırılmıştır. Özellikle, AUS uygulamalarında yaşanan siber saldırı olayları açısından öğrenilen dersleri çıkarmak için mevcut çözümlerin güçlü ve zayıf yönlerini vurgulayan karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Ayrıca, yapılan araştırmalara sonucunda AUS alanında kullanılan uygulamalar ve sistemler güvenlik açısından uluslararası standartlara dayanarak güvenlik modeller kullanılmalıdır. Bu modellerin takibi ve uygulanması sistemlerin güvenli olması, tehditlerden korunması ve sürekli çalışır durumda kalması açısından önemlidir. Siber güvenlik açısından yapılan incelemelerde en önemli saldırı yöntemleri DDoS, MitM ve Malware saldırıdır. Geleneksel yöntemler ile korunma yerine gelişmiş teknolojiler kullanarak korunma yolları tercih edilmelidir. Özellikle bu saldırılara karşı alınması gereken önlemler uygulanarak gerekli gereksinimlerin sağlanması önemlidir. Güvenlik denetimleri, ağ trafiğini izleme, personelin farkındalık eğitimleri, yapay zeka ile geliştirilen uygulamaların kullanılması, anamoli tarama, ulusal ve uluslararası standartları takip etmek ve geliştirilen teknolojik koruma yöntemlerini kullanmak vb. adımlar AUS'u güvenli yapmak için takip edilmelidir.

Destek ve teşekkür beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Annamalai, C. (2022). Combinatorial and Multinomial Coefficients and its Computing Techniques for Machine Learning and Cybersecurity. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(8), 14713-011.

Autoblog. Erişim: 10 Aralık 2022, <https://www.autoblog.com/2017/08/04/self-driving-car-sign-hack-stickers/>.

Avcı, İ. (2021). Investigation of cyber-attack methods and measures in smart grids. *Sakarya University Journal of Science*, 25(4), 1049-1060.

Çelik, U. (2018) Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Büyük Veri, *1st International Conference on Intelligent Transportation Systems (BANU-ITSC'18)*, Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye, 202-211.

ENISA, Erişim: 15 Aralık 2022, <https://www.enisa.europa.eu/>

European Telecommunications Standards Institute. *ETSI 302 663 - G5*. Erişim: 11 Aralık 2022, https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf.

European Telecommunications Standards Institute. *ETSI 102 940*. Erişim 12 Aralık 2022, https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf.

European Telecommunications Standards Institute. *ETSI TR 102 638 ITS BSA*. Erişim: 13 Aralık 2022, https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf.

European Telecommunications Standards Institute. *ETSI 302 665*. Erişim 11 Aralık 2022, https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf.

Falahati, A., & Shafiee, E. (2022). Improve Safety and Security of Intelligent Railway Transportation System Based on Balise Using Machine Learning Algorithm and Fuzzy System. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 20(1), 117-131.

Fox40. Erişim: 11 Aralık 2022, <http://fox40.com/2017/08/03/road-sign-in-solano-county-hacked-to-say-trump-has-herpes/>.

Feng, Y., Huang, S. E., Wong, W., Chen, Q. A., Mao, Z. M., & Liu, H. X. (2022). On the Cybersecurity of Traffic Signal Control System With Connected Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.

Gaurav, A., Gupta, B. B., & Chui, K. T. (2022). Edge Computing-Based DDoS Attack Detection for Intelligent Transportation Systems. In *Cyber Security, Privacy and Networking* (pp. 175-184). Singapore: Springer Nature Singapore.

Katanalp, B. Y., Yıldırım, Z. B., Eren, E., & Uz, V. E. (2018, November). Akıllı Ulaşım Sistemleri Üzerine Bir Değerlendirme. In *2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies*, SETSCI Conference Indexing System (Vol. 3, pp. 1503-1506).

Kukkala, V. K., Thiruloga, S. V., & Pasricha, S. (2022). Roadmap for Cybersecurity in Autonomous Vehicles. *IEEE Consumer Electronics Magazine*.

Lamssaggad, A., Benamar, N., Hafid, A. S., & Msahli, M. (2021). A survey on the current security landscape of intelligent transportation systems. *IEEE Access*, 9, 9180-9208.

Markovčić Kostelac, M. (2019). EU raises cyber-security awareness in transportation. *Safety4Sea*. Retrieved December 7, 2022 from <https://safety4sea.com/eu-raises-cyber-security-awareness-in-transportation>.

Mikhalevich, I. F. (2022, March). Priority Ways to Ensure Cybersecurity of Cooperative Intelligent Transport Systems. In *2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications* (pp. 1-7). IEEE.

Özarpa, C., Avcı, İ., Kinaci, B.F. (2022). Cyberattack Measures in Smart Cities and Grids. In: Marques, G., González-Briones, A. (eds) *Internet of Things for Smart Environments*. EA/Springer Innovations in Communication and Computing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09729-4_7.

Realclear. Erişim: 05 Kasım, 2022, http://www.realclear.com/offbeat/2016/05/24/great_prank_leads_to_truly_terrible_advice_on_hacked_texas_road_sign_13439.html.

Report-d. Erişim: 8 Aralık 2022, <https://www.report-d.de/Duesseldorf/Verkehr/Duesseldorf-zwischen-Update-und-Absturz-Schwarzer-Donnerstag-bei-der-Rheinbahn-Tausende-kamen-zu-spaet-75475>.

Sfexaminer. Erişim:5 Aralık 2022, <http://www.sfexaminer.com/hacked-appears-muni-stations-fare-payment-system-cashes>.

Suryadithia, R., Faisal, M., Putra, A. S., & Aisyah, N. (2021). Technological developments in the intelligent transportation system (ITS). *International Journal of Science, Technology & Management*, 2(3), 837-843.

Sputniknews. Erişim: 7 Aralık 2022, <https://cdn2.img.sputniknews.com/images/105598/15/1055981593.jpg>.

Srivastava, G., Jhaveri, R. H., Bhattacharya, S., Pandya, S., Maddikunta, P. K. R., Yenduri, G., ... & Gadekallu, T. R. (2022). XAI for Cybersecurity: State of the Art, Challenges, Open Issues and Future Directions. *arXiv preprint arXiv:2206.03585*.

Tektaş, M., & Tektaş, N. (2019b). Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.

Telang, S., Chel, A., Nemade, A., & Kaushik, G. (2021). Intelligent transport system for a smart city. In *Security and Privacy Applications for Smart City Development* (pp. 171-187). Springer, Cham.

Telegraph. Erişim: 9 Aralık 2022, <http://www.telegraph.co.uk/news/2017/05/13/cyber-attack-hits-german-train-stations-hackers-targetdeutsche/>.

Tufan, H. «Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye için Bir AUS Mimarisi Önerisi,» T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 2014.

Trendmicro. Erişim: 12 Aralık 2022, https://documents.trendmicro.com/assets/white_papers/wp-cyberattacks-against-intelligent-transportation-systems.pdf.

UAB. Erişim:17 Mart 2023, <https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf>.

Washington Post. Erişim: 3 Aralık 2022, [Somebody keeps hacking these Dallas road signs with messages about Donald Trump, Bernie Sanders and Harambe the gorilla - The Washington Post](https://www.washingtonpost.com/news/technology/wp/2022/12/03/somebody-keeps-hacking-these-dallas-road-signs-with-messages-about-donald-trump-bernie-sanders-and-harambe-the-gorilla-the-washington-post/).

Zeba, G., Dabić, M., Čičak, M., Daim, T., & Yalcin, H. (2021). Technology mining: Artificial intelligence in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 171, 120971.

Zhang, Z., Hamadi, H. A., Damiani, E., Yeun, C. Y., & Taher, F. (2022). Explainable Artificial Intelligence Applications in Cyber Security: State-of-the-Art in Research. *arXiv preprint arXiv:2208.14937*.