



BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
UNIVERSITY

BAUSMER



Online Participation
3
rd

INTERNATIONAL
Conference on Intelligent
Transportation Systems
BANU-ITSC'23

15 - 17 November 2023
Bandırma - Türkiye



Contact

itsc.bandirma.edu.tr

itsc@bandirma.edu.tr

TAM METİN
BİLDİRİLER KİTABI
FULL TEXT
PROCEEDINGS BOOK

3. ULUSLARARASI AKILLI ULAŖIM SİSTEMLERİ KONFERANSI ITSC'23

ISBN: 978-605-72639-9-5

15-17 KASIM 2023

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE
ON INTELLIGENT TRANSPORTATION
SYSTEMS**

**3. ULUSLARARASI AKILLI ULAŖIM
SİSTEMLERİ KONFERANSI**

Editör

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŖ

Bandırma, Kasım, 2023



**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
UNIVERSITY**

BAUSMER



Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi BAUSMER tarafından 15-17 Kasım 2023 tarihleri arasında çevrim içi olarak gerçekleştirilen, Akıllı Ulaşım Sistemleri alanında bu adla tek uluslararası konferansın üçüncüsü olan “3. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı” (ITSC'23) geniş katılım ile başarıyla gerçekleştirilmiştir.

BAUSMER Müdürü Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ'ın başkanlığını yaptığı Düzenleme Kurulu, yirmiye yakın tam metin bildirinin sunulduğu, yurt içinden ve yurt dışından çok sayıda bilim insanı, kamu ve özel sektör temsilcisinin yoğun katılım gösterdiği başarılı bir konferansa ev sahipliği yapılmıştır.

Konferansın açılış konuşması BAUSMER Müdürü Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ tarafından gerçekleştirilmiş, üniversitemiz ve BAUSMER' in AUS alanında yaptığı çalışmalar, gerçekleştirdiği projeler ve geliştirdiği akademik imkanlarına vurgu yapılmıştır.

Konferansın ilk oturumu Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü Genel Müdürü Sn. Ömer ALAN ve AUS Türkiye Yönetim Kurulu Başkanı & Haberleşme Genel Müdürlüğü Genel Müdür Yardımcısı Sn. Esmâ DİLEK'in değerli katılımları ile tamamlanmıştır. Oturumda yapılan konuşma ve sunumda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ve AUS Türkiye'nin AUS alanında yaptıkları ulusal boyuttaki çalışma ve projeler anlatılmıştır. Oturumda ayrıca, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve BAUSMER öncülüğünde Akıllı Şehirler kapsamında işbirliği yapılması hususunda sözlü mutabakat sağlanmıştır.

Öğleden sonraki oturumlar Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE moderatörlüğünde gerçekleştirilmiştir. Oturumlarda davetli konuşmaların ve konukların yoğun katılımı ile etkileşimli ve etkili sunumlar yapılmıştır.

Davetli konuşmacılar Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan Sn. Bestami KARA, Sn. Gökhan BİLGİN, Sn. Ömer Faruk ERİŞ ve Sn. Selami SUNGUN tarafından yapılan sunumlarda Akıllı Şehirler ve Akıllı Ulaşım Sistemleri ekosisteminde çalışmakta olan yerli ve yabancı ortaklar ile işbirliklerine ağırlık verildiği, açık kaynaklı yerli ve millî yazılım geliştirme çalışmalarının önemli seviyede yol kat ettiği ve büyük bir ivme ile devam ettiği görülmektedir.

Üniversitemiz Kütüphane Daire Başkanı Sn. Barış YILDIRIM kütüphanemizin kuruluşundan bu yana başkanlığı sürecinde fiziksel ve çevrimiçi erişim imkanları bakımından kat ettiği önemli kilometre taşları hakkında bilgi vermiştir.

3. ULUSLARARASI AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ KONFERANSI ITSC'23

Teknofest'e üniversitemiz adına katılım sağlamayı hedefleyen Waterbenders ekibinden öğrencilerimiz Sn. Ahmet HANCI, Sn. Haydar PALAVAR, Sn. Emine AĞAYA ROV Projeleri hakkında bilgi vermiştir.

Akıllı Ulaşım Sistemleri Bağlantılı ve Otonom Araçlar alanında son derece tecrübeli isimlerden olan, Marmara Üniversitesi'nden Doç. Dr. Müjdat SOYTÜRK ve Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nden Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN tarafından yapılan sunumlarda Bağlantılı ve Otonom Araçlar ile Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Kariyer Planlama konuları derinlemesine ele alınmıştır. Sunumlar ve akademisyenlerin soru/cevap kısmında aktardıkları bilgiler katılımcılar tarafından yoğun ilgi ile karşılanmıştır.

İlk günün son oturumları Doç. Dr. Selahattin KONUŞUNALP moderatörlüğünde gerçekleştirilen sunumlarda yazarlar Ulaşım Yönetim Sistemleri, ADAS ve EPS Sistemleri, Akıllı Ulaşım da Yapay Zekâ üzerine konferansa gönderdikleri tam metin bildirilerin sunumlarını yapmıştır.

Konferansın ikinci gününde Prof. Dr. Necla TEKTAŞ, Doç. Dr. Selahattin KONUŞUNALP, Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE, Araş. Gör. Fatih ERGEZER ve Araş. Gör. Şerife Gülsüm DEMİR tarafından yapılan moderatörlüğü yapılan ve bildiri sunumlarının devam ettiği oturumlarda AUS'un multidisipliner yapısını ortaya koyacak şekilde Uzay Bilimlerinden Tarım Lojistiğine, Yapay Zekadan Engelli Bireylerin Ulaşımın kadar geniş bir yelpazede toplam 18 tam metin bildiri sunulmuştur.

Konferansın üçüncü gününde, Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ moderatörlüğünde "Ulaşım Planlamada Akıllı Yöntemler" oturumu ile başlamıştır. Oturumda Yüksek İnşaat Mühendisi Cengiz UNCU tarafından "Ulaşım Planlamada Yeni Trendler" üzerine BAUSMER adına teslim etmiş olduğu çok sayıda simülasyon tabanlı ulaşım planlama projesi hakkında sunum yapılmıştır.

Ardından, Boğaziçi Üniversitesi'nden Doç. Dr. Ilgın GÖKAŞAR "AUS' ta Yeni Trendlerin Değerlendirilmesi" isimli sunumu gerçekleştirmiş, C-ITS, otonom araçlar ve sürdürülebilirlik temelinde yer alan proje ve çalışmaların çıktılarının da paylaşıldığı bir sunum yapılmıştır.

Son oturumda, Prof. Dr. Necla TEKTAŞ' in moderatörlüğünde yapılan "YLSY ve ÖYP" oturumunda, Delft Teknoloji Üniversitesi'nden Merve Seher CEBECİ tarafından YLSY hakkında bilgilendirici bir sunum yapılmıştır. Oturumda yurt dışında lisansüstü öğrenim gören öğrencilerin deneyimleri, YLSY ve ÖYP öğrencilerinin karşılaştığı sorunlar ele alınmıştır.

3. ULUSLARARASI AKILLI ULAŖIM SİSTEMLERİ KONFERANSI ITSC'23

3. Uluslararası Akıllı UlaŖım Sistemleri Konferansı Prof. Dr. Mehmet TEKTAŖ'ın kapanıŖ konuşması ile sona ermiŖtir.

Başarı ile gerekleŖtirdiđimiz.ve AUS alanında bu isimle anılan 3. Uluslararası Akıllı UlaŖım Sistemleri konferansının ilk günü sonunda ve ikinci günün tamamında sunulan bildiriler bu "Tam Metin Bildirileri Kitabı" ile yayınlanmıŖtır. Emeđi geçen tüm yazarlara, Bilim Kuruluna, Hakemlere ve Konferans düzenleme kurulu üyelerine teŖekkr ederim.

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŖ
Konferans Düzenleme Kurulu BaŖkanı

Not: Doçentlik kriterlerine uygundur.

Konferans Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŖ

Prof. Dr. Necla TEKTAŖ

Doç. Dr. Selahattin KOŖUNALP

Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE

Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN

Arş. Gör. Fatih ERGEZER

Arş. Gör. Ŗerife Gülsüm DEMİR

Kütüphane Daire Başkanı BarıŖ YILDIRIM

Öğr. Gör. Ömer İNAN

Konferans Sekreteryası Sevin KARAGÖZ

Bilim Kurulu

Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU	Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. David GRACE	University of York, İngiltere
Prof. Dr. Evangelos MITSAKIS	Helenik Ulaşım Enstitüsü, Yunanistan
Prof. Dr. Fevzi BABA	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Halim YANIKÖMEROĞLU	Carleton Üniversitesi, Kanada
Prof. Dr. Hasan ERDAL	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. İlhan KOCAARSLAN	TÜVAŞAŞ, Türkiye
Prof. Dr. Jose HOLGUIN-VERAS	Rensselaer Politeknik Enstitüsü, ABD
Prof. Dr. Mehmet TEKİN	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa GÖK	Çukurova Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa KURT	Marmara Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Necla TEKTAŞ	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Nevzat ONAT	Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Paul D. MITCHELL	York Üniversitesi, İngiltere
Prof. Dr. Serap İNCAZ	Kırklareli Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Serhan Tanyel	Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Turan ASLAN	Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Prof. Dr. Victor HACKER	Graz University of Technology, Avusturya
Doç. Dr. Athanasios Theofilatos	University of Thessaly, Yunanistan
Doç. Dr. Bahadır Fatih YILDIRIM	İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Gültekin BASMACI	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Harun ÖZBAY	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Hasan ŞAHİN	Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Iğın GÖKAŞAR	Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. İlyas ÖZER	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Metin Mutlu AYDIN	Samsun 19 Mayıs Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Müjdat SOYTÜRK	Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Selahattin KOŞUNALP	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Selçuk ALP	Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Selim DÜNDAR	Okan Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Adem KORKMAZ	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FİDAN	Ordu Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Akif KARAFİL	Yalova Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Burak YAPRAK	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Emrah DÖNMEZ	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İsa AVCI	Karabük Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ	İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Yasin SARIKAVAK	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Yavuz DELİCE	Yalova Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÖZER	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÇAKICI	İzmir Demokrasi Üniversitesi, Türkiye
Dr.Dilum Dissanayeke	University of Birmingham, İngiltere
Dr.Dimitris Potoglou	University of Cardiff, Galler

İçindekiler Tablosu

Konferans Düzenleme Kurulu	1
Bilim Kurulu	2
İçindekiler Tablosu	4
Düşük Işıklı Görüntüler için Görüntü İyileştirme Algoritmalarının Değerlendirilmesi ve YOLO V3 Kullanılarak Nesne Algılama Üzerindeki Etkisi	5
Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Siber Güvenlik: Türkiye’de Mevcut Durum ve Öneriler ...	16
The Invisible Hands of Vehicles: ADAS and EPS in Modern Automobiles.....	34
The role of Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems.....	44
Transportation Management Systems (TMS) and An Application in a Real Industrial Company.....	54
Kent İçi Temiz Hava Alanları: Düşük Salım Bölgeleri	63
İklim Krizini Önlemede Çevreci Ulaşım Planlaması: Yeşil Ulaşım Uygulamaları	72
Elektrikli Araçlar için Yenilenebilir Enerji Destekli Akıllı Şarj Sistemleri ve Mobilite..	87
Kentiçi Ulaşım Hizmeti Memnuniyeti: Bandırma Örneği	100
Uzay enkazı: Tehditleri ve Önleme yöntemleri	117
Yerel Yönetimlerde Otopark Stratejileri.....	130
Paylaşımlı Hareketliliğin Yeni Nesil Ulaşım Anlayışına Etkisi.....	140
Derin Öğrenme Yöntemi YOLOv8’in Çoklu Nesne Algılama Performansı.....	159
Türkiye Cumhuriyeti’nin Tarım Lojistiğinin Durumu	169
A Comprehensive Review on GPS Studies in Power Two-Wheelers.....	178
Balıkesir İli Engelli Bireylerin Ulaşımı	187
Evaluation of Cooperative Intelligent Transportation Systems Scenarios	208

Düşük Işıklı Görüntüler için Görüntü İyileştirme Algoritmalarının Değerlendirilmesi ve YOLO V3 Kullanılarak Nesne Algılama Üzerindeki Etkisi

Orhun Onar^{1*}, Batuhan Akkuş², Görkem Çavuşoğlu³

¹TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,
Bursa, Türkiye

²TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,
Bursa, Türkiye

³TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş.,
Bursa, Türkiye

*orhunonar@outlook.com

¹ORCID: 0009-0004-8133-4703, ²ORCID: 0009-0000-9591-6537, ³ORCID: 0009-0004-7888-7227

Özet

Bu araştırma, çeşitli görüntü iyileştirme algoritmalarının düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmedeki etkinliğini araştırmakta ve YOLO V3 bilgisayarla görü algoritmasını kullanarak nesne algılama üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Yapılan çalışmalar boyunca, düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmek için geliştirilmiş Zero-DCE ve MIRNet adlı iki sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, Zero-DCE'nin düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmede, MIRNet'ten daha bir iyi performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. Şaşırtıcı bir şekilde, YOLO V3 bilgisayar görü algoritmasının, düşük ışık koşullarında bile yeterli nesne algılama yetenekleri sergilemesi nedeniyle belirli senaryolarda görüntü iyileştirme algoritmalarının çalıştırılmasına gerek olmadığı gözlemlenmiştir. MIRNet algoritmasında, iyileştirilmesi istenen görüntülerinin yeniden boyutlandırılmasını gerektiren zorluklar ortaya çıkmıştır. Bu yeniden boyutlandırma işlemleri sonucunda, fotoğrafların çözünürlükleri kötüleşmiş ve kıyaslama sonucunu etkileyebilecek olumsuz sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunu çözmek için, yeniden boyutlandırılmış resimler içeren ve içermeyen her iki sonuç kümesi karşılaştırılmıştır. Benzer bir şekilde, Zero-DCE algoritmasının da yüksek çözünürlüklü bir görüntüyü işlemekte zorlandığı gözlemlenmiş ve fotoğrafın boyutu asgari miktarda küçültülmüştür. Karşılaşan bu olumsuzluklardan dolayı, kullanılacak nöral ağ algoritmalarına girdi olarak verilecek fotoğraflar için standart bir fotoğraf boyutu belirlenmesi kararlaştırılmıştır. Ek olarak, nöral ağ uygulamalarının geleneksel yöntemlerle arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için OpenCV'deki CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) fonksiyonu ve MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu'ndaki fonksiyonlar da bu karşılaştırılmaya dahil edilmiştir. Bu teknikler, düşük çözünürlüklü görüntüleri iyileştirmede etkili olmakla birlikte, bir miktar görüntü bozulmasına neden olma eğilimi de göstermiştir. Yapılan bu çalışmaların neticesinde, akıllı ulaşım ve otonom sürüş sistemleri gibi alanlarda kullanılması planlanan kameraların nesne tespiti alanındaki hassasiyetini artırmak için, nöral ağ algoritmalarının kullanılabilirliğine inanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Görüntü İşleme, Bilgisayar Görü, Görüntü İyileştirme, Nöral Ağlar, Düşük Işık

An Evaluation of Image Enhancement Algorithms for Low-Light Images and their Impact on Object Detection using YOLO V3

Abstract

This research investigates the effectiveness of various image enhancement algorithms in enhancing low-light images and evaluates their impact on object detection using the YOLO V3 computer vision algorithm. Throughout the studies, two neural network algorithms called Zero-DCE and MIRNet were used to improve low-light images. From the results obtained, it is understood that Zero-DCE has better performance than MIRNet in improving low-light images. Surprisingly, it has been observed that there is no need to run image enhancement algorithms in certain scenarios as the YOLO V3 computer vision algorithm exhibits adequate object detection capabilities even in low light conditions. Challenges have arisen in the MIRNet algorithm, requiring resizing the images to be enhanced. As a result of these resizing processes, the resolutions of the photos have deteriorated and negative results have emerged that may affect the comparison result. To resolve this issue, both result sets with and without resized images were compared. Similarly, it was observed that the Zero-DCE algorithm had difficulty processing a high-resolution image, and the size of the photo was reduced to a minimum amount. Due to these negativities, it was decided to determine a standard photo size for the photos that will be given as input to the neural network algorithms to be used. In addition, to better understand the difference between neural network applications and traditional methods, the CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) function in OpenCV and functions in the MATLAB Image Processing Toolbox were also included in this comparison. While these techniques are effective at improving low-resolution images, they have also tended to cause some image degradation. As a result of these studies, it is believed that neural network algorithms can be used to increase the sensitivity of cameras planned to be used in areas such as intelligent transportation and autonomous driving systems in object detection.

Keywords: Image Processing, Computer Vision, Image Enhancement, Neural Networks, Low Light

1. Giriş

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, her sektörde olduğu gibi ulaşım sektöründe de farklar yaratmaktadır. Ortaya çıkan bu gelişmeler doğrultusunda Avrupa Birliği, otomotiv alanında yeni bir güvenlik regülasyonu yayınlama kararı almıştır. Bu güvenlik regülasyonu, yaşanacak kazaların önlenmesini sağlayacak ADAS (Gelişmiş Sürücü Destek Sistemleri) komponentlerin, araç üzerinde bulunma zorunluluğunu yasallaştırmakta ve otonom sürüş özelliğine sahip otomobillerin kullanımını arttırmayı planlamaktadır [1]. Otonom sürüş özelliğine sahip otomobillerle birlikte, otomobillerin üzerinde yer alan ön görüş kameralarının da önemi artmaktadır.

Ön görüş kameraları; sınıflandırma ve nesne tespiti gibi yüksek çözünürlüklü görevlerde kullanıldığı gibi, trafik ışığı ve trafik levhası algılama gibi renk algısı gerektiren görevlerde de kullanılabilir [2].

Bu çalışmanın amacı; gece görüş özelliğine sahip olmayan ön görüş kameraları tarafından çekilen düşük ışıklı görüntülerin iyileştirilmesinde, çeşitli görüntü iyileştirme algoritmalarının etkinliğini değerlendirmek ve YOLO V3 algoritmasını kullanarak nesne algılama üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Bu çalışmada iki sinir ağı algoritması Zero-DCE ve MIRNet ana odak noktasıdır. Çalışmanın bir diğer amacı, görüntü iyileştirme teknikleri arasındaki ilişkiyi ve bunların özellikle zorlu düşük ışık koşullarında nesne algılama performansı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Araştırmanın nihai hedefi, otonom sürüş donanımlı araçların ön kameralarından alınan görüntülerin ne ölçüde iyileştirilebileceğine dair fikir edinmek ve YOLO V3 algoritmasının otomobil ve yaya tespitindeki başarısını ölçmektir.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmalar boyunca kullanılan algoritmalar aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmış ve tanımlanmıştır.

2.1. YOLO V3

YOLO V3 (You Only Look Once), Darknet çerçevesi üzerine kurulmuş gerçek zamanlı bir nesne algılama sistemidir. 2016 yılında Joseph Redmon ve Ali Farhadi tarafından tanıtılmıştır. YOLO V3'yu geleneksel nesne algılama sistemlerinden ayıran şey, görüntüleri birden fazla geçiş yerine tek geçişte işleyebilmesi ve bu sayede onu önemli ölçüde daha hızlı hale getirmesidir. Bu özellik de onu, R-CNN algoritmasından 1000 kez ve Fast R-CNN algoritmasından 100 kez daha hızlı çalışmasını sağlamaktadır [3]. YOLO V3, eğitim sırasında sınıf tahminleri için bağımsız lojistik sınıflandırıcılar ve ikili çapraz entropi kaybını kullanır. Bu düzenlemeler, YOLO V3 model eğitimi için Microsoft'un Open Images Veri Kümesi (OID) gibi karmaşık veri kümelerinin kullanılmasını mümkün kılar. OID, veri kümesindeki görseller için onlarca örtüşen etiket içerir [4].

2.2. MIRNet

MIRNet özyinelemeli bir artık tasarım üzerine kurulmuştur. Temel yapı taşı, tüm ağ boyunca mekansal olarak hassas yüksek çözünürlüklü temsillerin korunmasında önemli bir rol oynayan çok ölçekli artık bloktur (MRB). MRB'nin birincil kolu ince taneli ayrıntıları korumaya adanmışken, bir dizi tamamlayıcı paralel dal bağlamsallaştırılmış özelliklerin geliştirilmesinden sorumludur. Bu mimari yaklaşım, seçici çekirdek özelliği füzyonu (SKFF) mekanizması aracılığıyla paralel akışlar arasında bilgi alışverişini kolaylaştırır. SKFF, düşük çözünürlüklü özelliklerin yardımıyla yüksek çözünürlüklü özelliklerin birleştirilmesini sağlar ve bunun tersi de geçerlidir. Bu karmaşık tasarım, MIRNet'in tek görüntülü süper çözünürlüklü görevlerde dikkate değer sonuçlar elde etme becerisini desteklemektedir ve bu da onu çeşitli uygulamalarda görüntü kalitesini artırmak için cazip bir seçim haline getirmektedir [5].

2.3. Zero-DCE

Zero-DCE, girdi olarak düşük ışıklı bir görüntü alır ve çıktı olarak yüksek dereceli ton eğrileri oluşturur. Bu ton eğrileri, girdi görüntüsünün dinamik aralığına uygulanan piksel bazında ayarlamalarda çok önemli bir rol oynar ve sonuçta iyileştirilmiş bir görüntünün oluşturulmasını sağlar. Eğri tahmin süreci, geliştirilmiş görüntüdeki komşu piksellerin hem aralığını hem de kontrastını korumasını sağlayacak şekilde titizlikle tasarlanmıştır. Bu eğri tahmin yaklaşımı,

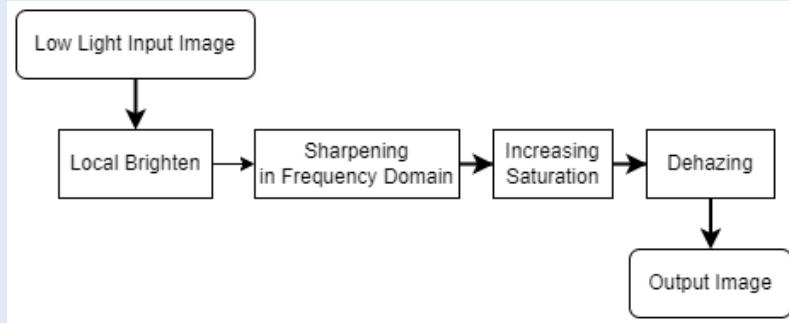
Adobe Photoshop gibi fotoğraf düzenleme yazılımlarında yaygın olarak bulunan eğri ayarlama tekniklerinden ilham almaktadır. Bu yazılım araçlarında kullanıcılar, görüntünün ton aralığındaki noktaları hassas bir şekilde ayarlama yeteneğine sahip olup, görüntü özelliklerinin hassas şekilde kontrol edilmesine ve geliştirilmesine olanak tanır. Zero-DCE bağlamında, bu mekanizmanın düşük ışıklı görüntüleri iyileştirmede, genel kaliteyi iyileştirmede ve onu çeşitli görüntü iyileştirme uygulamaları için değerli bir araç haline getirmede etkili olduğu kanıtlanmıştır [6].

2.4. CLAHE

Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (CLAHE), görüntünün tamamı yerine, dölşeme adı verilen görüntünün küçük alanları üzerinde çalışır. Çevreleyen dölşemeler, sahte sınırları ortadan kaldırmak için çift doğrusal enterpolasyon kullanılarak harmanlanır. Bu algoritma görüntü kontrastını iyileştirmek için kullanılabilir [7].

2.5. MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu

MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu, görüntü işleme, analiz, görselleştirme ve algoritma geliştirme için özel olarak tasarlanmış çok çeşitli referans standardı algoritmalar ve iş akışı uygulamaları sunar. Bu araç kutusu içerisinde kullanıcılar, hem geleneksel görüntü işleme yöntemlerini hem de derin öğrenme tekniklerini kullanarak görüntü segmentasyonu, iyileştirme, gürültü azaltma, geometrik dönüşümler ve görüntü kaydı dahil olmak üzere bir dizi işlemi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirebilir [8].



Şekil 1. MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu'nda kullanılan fonksiyonlar ve kullanım sırası

2.6. Veri Kümesi

Görüntü iyileştirme algoritmalarının test edilmesi için 5 farklı fotoğraf kullanılmıştır. Bu fotoğraflar, görüntü iyileştirme algoritmalarının farklı çözünürlüklere sahip fotoğraflarda nasıl çalıştığını anlamak için farklı çözünürlüklere sahip fotoğraflar arasından seçilmiştir. Fotoğraflarda otomobil bulunmasına özellikle dikkat edilmiştir ve bilgisayar görü algoritmalarının otomobilleri yüzde kaç doğrulukla bulabileceği test edilmiştir. Test amaçlı seçilen fotoğraflar, Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Soldan sağa Otomobil, Cadde, Astronot, Kaldırım ve Otopark

3. Sonuçlar ve tartışma

Testler sırasında kullanılan girdiler ve elde edilen sonuçlar Tablo 1’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Orijinal fotoğraflar ve algoritmalara göre çıktıları

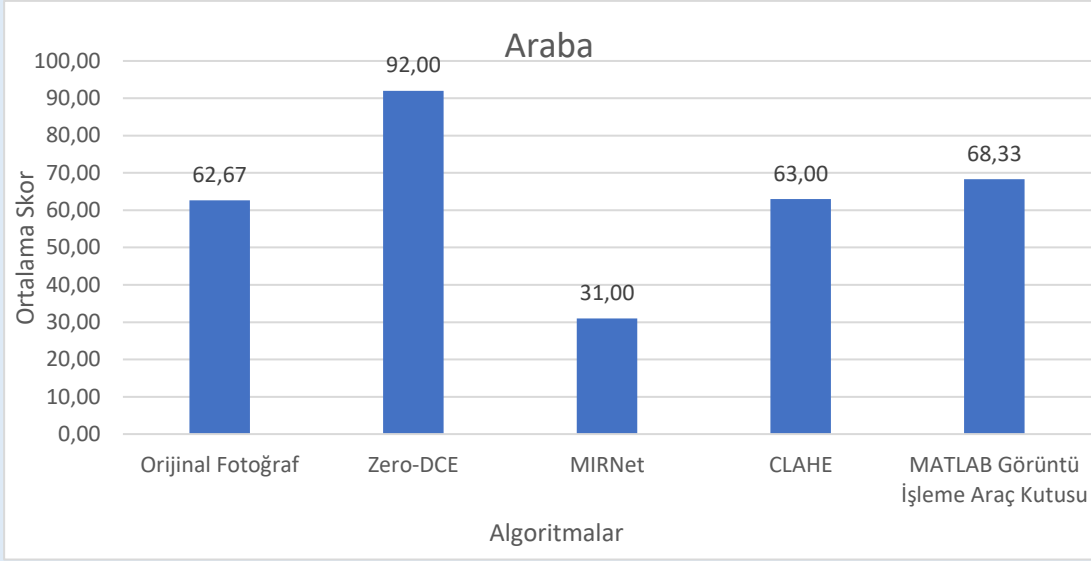
Fotoğraflar/ Algoritmalar	Orijinal Fotoğraf	Zero-DCE	MATLAB	MIRNet	CLAHE
Otomobil					
Astronot					
Cadde					
Kaldırım					
Otopark					

Sonuçlardan da anlaşılabilirdiği üzere, bütün algoritmalar orijinal fotoğraf üzerinde gözlemlenebilecek iyileştirmeler yapmıştır. Cadde ve otomobil fotoğraflarında MIRNet algoritması istenilen şekilde çalışmamış, renk ve netlik bozulmalarına sebep olmuştur. Bu nedenle YOLO V3 ile yapılacak sayısal analizlerde hatalı sonuçlar verebilecek durumlara sebep olmuştur.

YOLO V3 ile yapılan analizlerde, algılama doğruluğu hesaplanırken tespit edilen nesnelerin gerçek nesnelerle ne kadar doğru eşleştirildiği belirlenir. Bu eşleşmelerin yüzde oranı hesaplanır ve bu oranlar toplanır. Ardından, tespit edilebilecek maksimum nesne sayısına bu toplam değer bölünerek ortalama doğruluk skoru hesaplanır. Bu prosedür, her bir fotoğraf ve bu fotoğraflarda uygulanan algoritmalar için uygulanır.

3.1. Otomobil Fotoğrafının Analizi

Bu fotoğrafta ön planda 1 adet ve arka planda 2 adet otomobil olmak üzere toplamda 3 otomobil bulunmaktadır. YOLO V3 ile, otomobil fotoğrafı üzerinde yapılan görüntü işleme testleri ve algoritmanın verdiği yüzdelik doğru puanları Şekil 3'de gösterilmiştir.

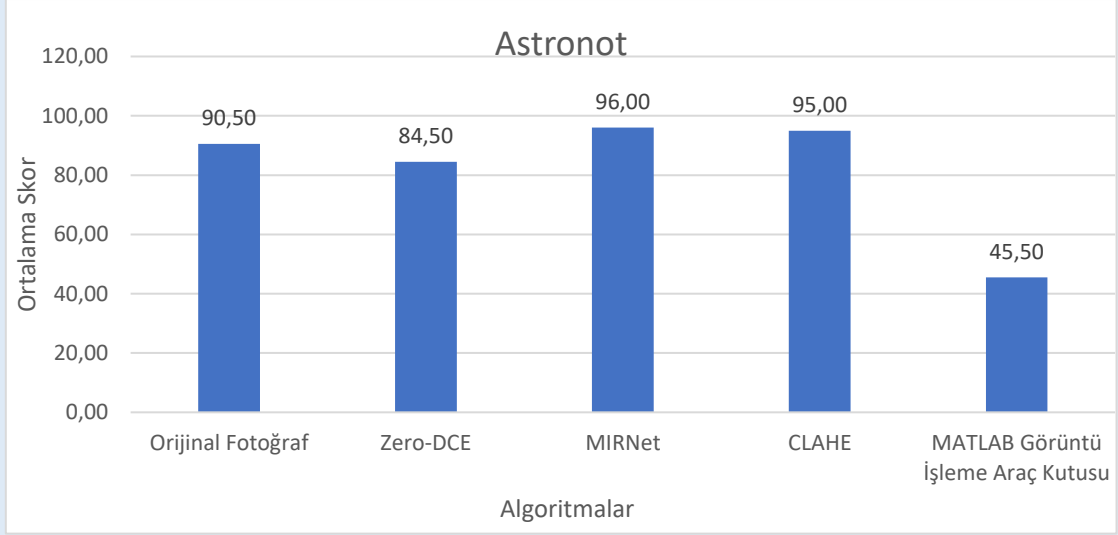


Şekil 3. Algoritmaların, otomobil fotoğrafı üzerindeki etkisi

YOLO V3 algoritması, orijinal fotoğrafta ve CLAHE'nin uygulandığı fotoğrafta 3 otomobilden sadece 2 otomobil tespit edebilmiştir. Zero-DCE ve MATLAB algoritmalarının uygulandığı fotoğraflarda ise bütün nesneler tespit edilebilmiştir. MIRNet algoritması ise bu fotoğrafta bozulmalara neden olmuştur ve istenilen çıktıyı verememiştir.

3.2. Astronot Fotoğrafının Analizi

Bu fotoğrafta 1 astronot ve 1 uzay aracı bulunmaktadır. YOLO V3'nun kullandığı önceden eğitilmiş modellerde astronot ve uzay aracı etiketleri bulunmadığı için, YOLO V3'nun bu fotoğrafta insan ve otomobil tespit etmesi doğru sonuç olarak kabul edildi. Algoritmaların fotoğraflarda elde ettiği skorlar Şekil 4'de verilmiştir.

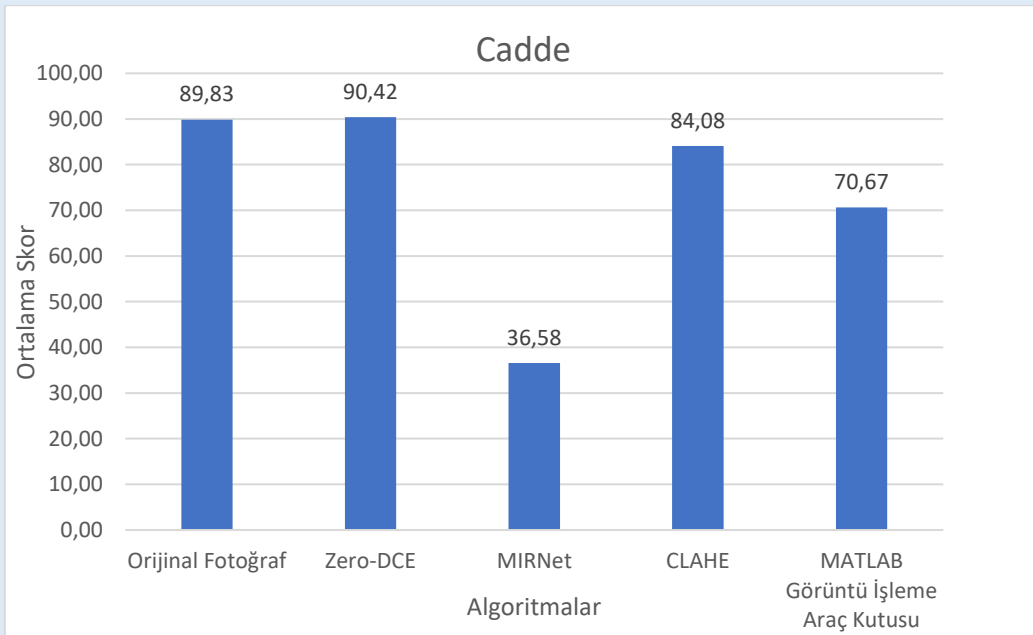


Şekil 4. Algoritmaların, astronot fotoğrafı üzerindeki etkisi

YOLO V3 algoritması, görüntünün iyileştirilmesine ihtiyaç duymadan astronot ve uzay aracını çok yüksek bir doğrulukla tespit etmeyi başarmıştır. MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu'nda bulunan ve Şekil 1.'de sıralaması bulunan fonksiyonlar ise görüntü üzerinde bir gürültü yaratmış ve sadece astronot tespit edilebilmiştir.

3.3. Cadde Fotoğrafının Analizi

Bu fotoğrafta birçok insan ve otomobil bulunmakla birlikte; bisiklet, ağaç ve sırt çantası gibi YOLO V3'nun tespit edebileceği birçok nesne yer almaktadır. Bu nedenle; algoritmaların sağlıklı bir şekilde kıyaslanabilmesi için en çok nesne tanımlayan algoritmanın algıladığı nesne sayısı, maksimum nesne sayısı olarak baz alınmıştır. Algoritmaların elde ettiği skorlar Şekil 5'te verilmiştir.

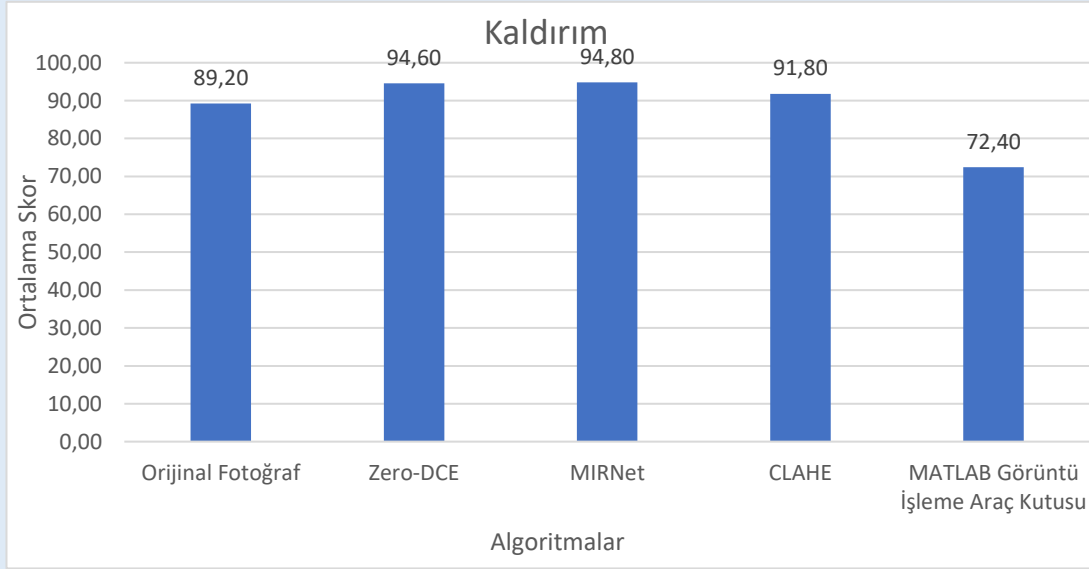


Şekil 5. Algoritmaların, cadde fotoğrafı üzerindeki etkisi

YOLO V3 algoritması, astronot fotoğrafında da olduğu gibi görüntü iyileştirme yapılmasına ihtiyaç duyulmadan fotoğraftaki birçok nesneyi kolayca ve yüksek doğruluk oranıyla tahmin edebilmiştir. Bunun yanı sıra MIRNet algoritması, fotoğrafın renginin ve netliğinin bozulmasına neden olmuş ve YOLO V3'nun cisimleri tespit edememesine neden olmuştur. Şekil 1'de uygulanan ve MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu'nda yer alan fonksiyonlar ise, fotoğraftaki gürültünün artmasına neden olmuş ve YOLO V3'nun nesnelere daha düşük doğruluk oranlarıyla tespit etmesine neden olmuştur.

3.4. Kaldırım Fotoğrafının Analizi

Kaldırım fotoğrafı, testlerde kullanılan en yüksek çözünürlüğe sahip fotoğraftır. Bu fotoğraf, görüntü iyileştirme algoritmalarının yüksek çözünürlüklü fotoğraflarda nasıl çalıştığını anlamamızı sağlamak için özellikle seçilmiştir. Fotoğrafta, kaldırım boyunca dizilmiş otomobiller yer almaktadır ve YOLO V3'nun bu otomobilleri tespit etmesi beklenmektedir. Algoritmaların elde ettiği skorlar Şekil 6'de verilmiştir.

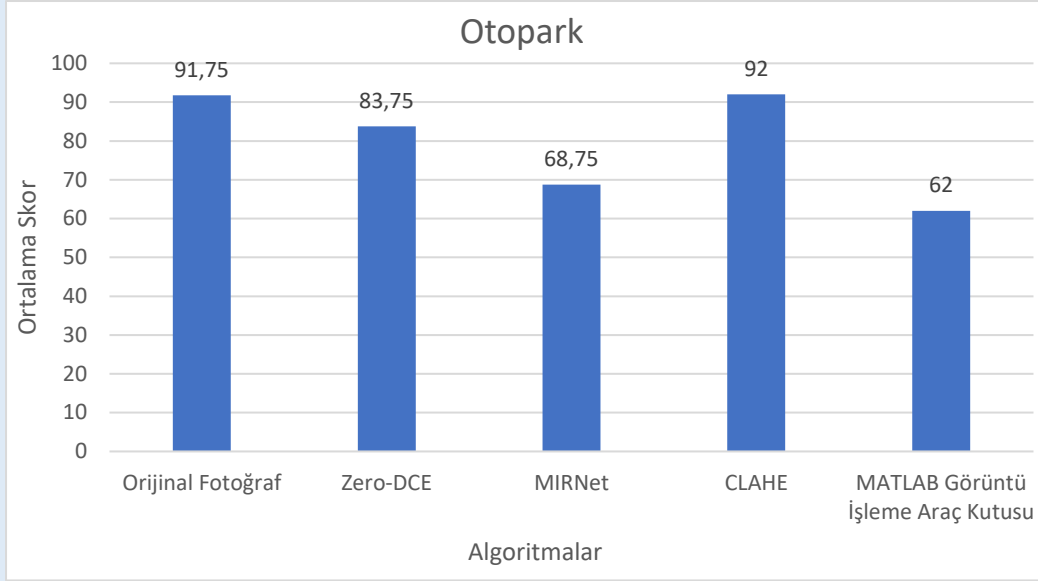


Şekil 6. Algoritmaların, kaldırım fotoğrafı üzerindeki etkisi

Nöral ağ algoritmaları olan Zero-DCE ve MIRNet, yüksek pikselli kaldırım fotoğrafını işleyememiş ve fotoğrafın çözünürlüğü değiştirilmek zorunda kalmıştır. Fotoğraf, tüm algoritmalarda istenilen şekilde çalışmıştır ve YOLO V3 otomobilleri tespit edebilmiştir. Matlab algoritması diğerlerine kıyasla orijinal görüntüden daha başarısız bir sonuç vermiştir.

3.5. Otopark Fotoğrafının Analizi

Bu fotoğrafta, bir otoparkta duran 5 adet otomobil bulunmaktadır. YOLO V3 algoritması; tüm çıktılarda ve orijinal fotoğrafta maksimum 4 otomobil algılayabildiği için, algoritmaların ortalama skorları 4 otomobil üzerinden hesaplanmış ve tespit edilemeyen diğer otomobil yok sayılmıştır. Algoritmaların elde ettiği skorlar Şekil 7'de verilmiştir.

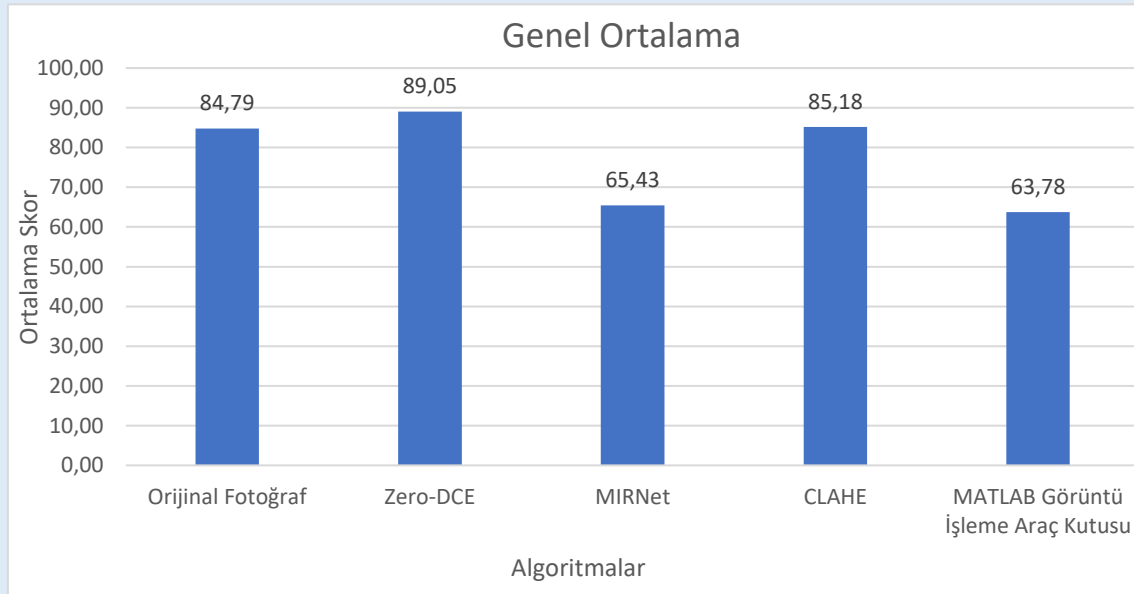


Şekil 7. Algoritmaların, otopark fotoğrafı üzerindeki etkisi

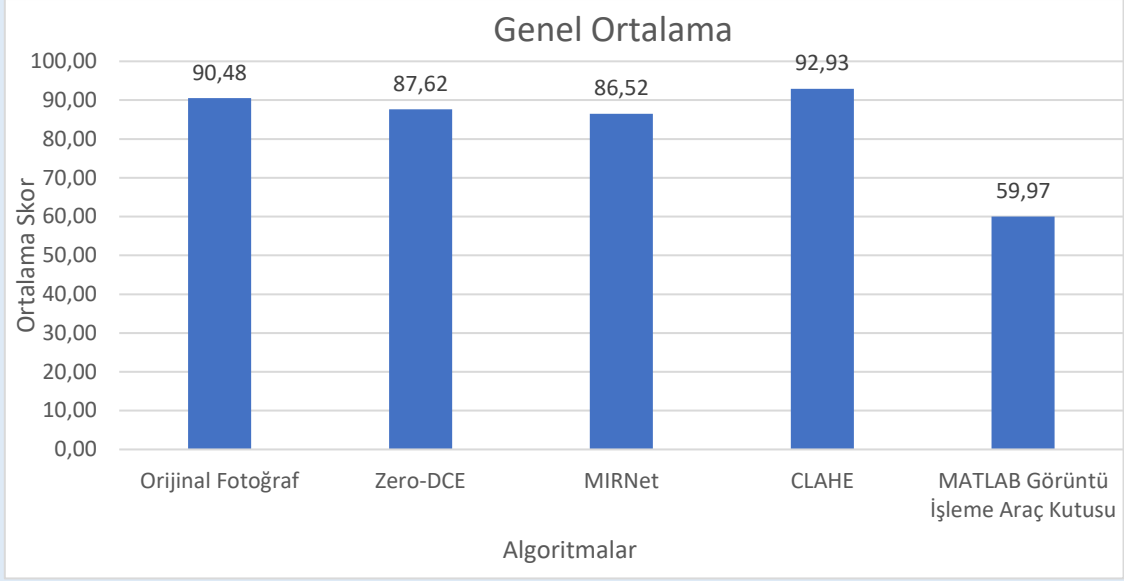
MIRNet algoritması, fotoğrafın renklerinde ve netliğinde herhangi bir bozulmaya sebep olmamasına rağmen beklenene göre oldukça kötü bir çıktı vermiştir. Bunun yanı sıra YOLO V3 algoritması, orijinal fotoğrafta ve CLAHE fonksiyonu uygulanmış fotoğrafta oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

3.6. Genel Ortalama

Dört farklı algoritmanın ve orijinal fotoğrafın YOLO V3 algoritmasında aldığı değerlerin ortalaması Şekil 8'da gösterilmiştir. Fakat MIRNet algoritmasının, cadde ve otomobil fotoğraflarında neden olduğu pikselleşme, verilerin yanlış yorumlanmasına neden olabileceği için, bu fotoğrafların bulunmadığı bir başka genel ortalama grafiği de çıkartılmıştır. Bu sonuç ise Şekil 9'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Bütün fotoğrafların dahil edildiği genel ortalama



Şekil 9. Otomobil ve cadde fotoğraflarının dahil edilmediği genel ortalama

4. Sonuç

Yapılan çalışmalar sonucu, YOLO V3 bilgisayar görü algoritmasının, düşük ışıklı ortamlarda çekilmiş görüntülerde dahi yüksek bir performans gösterdiği anlaşılmıştır. CLAHE fonksiyonunun ise, görüntü iyileştirme için tasarlanan nöral ağ algoritmalarından daha verimli çalıştığı ve YOLO V3'nun nesnelere daha yüksek bir doğruluk oranıyla tespit edebilmesini sağlamıştır. Zero-DCE nöral ağ algoritmasının, bir diğer nöral ağ algoritması olan MIRNet'e göre, YOLO V3'ü daha iyi tespit yapabileceği sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. MATLAB Görüntü İşleme Araç Kutusu'nda yer alan ve Şekil 1'de sırasıyla gösterilen fonksiyonlar, görüntüyü istenildiği gibi iyileştirememiş ve daha düşük bir performans göstermiştir.

Sonuç olarak, gelişen bilgisayar görüntüleme teknolojilerinin, düşük ışık koşullarında dahi yüksek doğrulukla nesne tespiti yapabilme kabiliyetine sahip olduğunu kanıtlanmıştır. Ancak, görüntü işleme uygulamaları, görüntüyü iyileştirme amacı güderken aynı zamanda istenmeyen bozulmalara yol açabilir. Bu nedenle, nesne algılama sistemlerinin ve görüntü işleme yöntemlerinin dikkatli bir şekilde tasarlanması ve ayarlanması gerekmektedir. Gürültü azaltma ve görüntü kalitesini artırma amacıyla yapılan işlemler, nesne algılama algoritmalarının performansını etkileyebilmesi olasılığı nedeniyle, uygulanan işlemlerin kararlılığının incelenmesi önemlidir. Bu bağlamda, teknolojilerin ve algoritmaların sürekli olarak geliştirilmesi, algılama alanında daha iyi sonuçlar elde edebilmek için önemlidir.

Kaynaklar

- [1] Babak Shahian Jahromi, "Camera Technology in Self-Driving Cars", Medium, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://medium.com/@BabakShah/camera-technology-in-self-driving-cars-610371db4b0b> [Erişim: 22 Ekim 2023].
- [2] Mark Haacke, "What is the GSR2?", Markhaacke, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://markhaacke.de/en/briefly-explained-what-is-the-gsr2/> [Erişim 22 Ekim 2023].
- [3] Joseph Redmon, "YOLO V3:Real-Time Object Detection", Pjredie, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://pjredie.com/darknet/YOLO v3/> [Erişim: 21 Ağustos 2023].

[4] Vidushi Meel, “Yolov3: Real Time Object Detection Algorithm (Guide)”, Viso, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://viso.ai/deep-learning/yolov3-overview/> [Erişim 22 Ekim 2023].

[5] Syed Waqas Zamir, Aditya Arora, Salman Khan, Munawar Hayat, Fahad Shahbaz Khan, Ming-Hsuan Yang, Ling Shao, “Learning Enriched Features for Real Image Restoration and Enhancement”, Cornell Üniversitesi, pp.4, Mart 2020. Mevcut: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.06792>

[6] Soumik Rakshit, “Zero-DCE For Low-Light Image Enhancement”, Keras, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://keras.io/examples/vision/zero_dce/ [Erişim 31 Ağustos 2023].

[7] Parthiban Marimuthu, “Image Contrast Enhancement Using CLAHE”, Analyticsvidhya, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/08/image-contrast-enhancement-using-clahe> [Erişim 22 Ekim 2023].

[8] The Mathworks Inc. , “Get Started with Image Processing Toolbox (R2023b)”, Mathworks, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.mathworks.com/help/images/getting-started-with-image-processing-toolbox.html> [Erişim: 10 Eylül 2023].

Akıllı Ulaşım Sistemlerinde Siber Güvenlik: Türkiye’de Mevcut Durum ve Öneriler

Esmâ DİLEK¹, Özgür TALİH^{2*}, Necla TEKTAŞ³

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgi Güvenliği Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

³İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Yöneylem Araştırması Ana Bilim Dalı Başkanı Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi,

*Sorumlu yazar ozgurtalih@ogr.bandirma.edu.tr

0000-0002-7994-0294, 0000-0002-5899-2511,0000-0002-8190-4532

Özet

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), ulaşımın farklı modları ile trafik yönetimi alanlarında yenilikçi hizmetler sunmayı amaçlayan ve yol kullanıcılarının daha iyi bilgilendirilmeleri, ulaşım ağlarını daha etkin, verimli ve güvenli kullanmalarını sağlayan gelişmiş uygulamalardır. AUS; araçlar, trafik ışıkları, sürücüler, sensörler, yol kenarı birimleri ve diğer altyapı bileşenleriyle birlikte karmaşık bir bağlantılı sistemler bütününden oluşmaktadır. Aynı zamanda AUS, optimal trafik sinyal kontrolü, güvenli kavşak geçişi, acil durum uyarı bildirimleri gibi birçok yenilikçi uygulamalar sunarak seyahat verimliliğini, kamu güvenliğini, acil durum müdahalesini iyileştirmekte ve yol kullanıcılarının yaşam kalitesini olumlu yönde önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bağlamda AUS bileşenlerinin siber güvenliği, kesintisiz ulaşım hizmetlerinin sağlanmasında önemli bir faktör olup verilerin gizliliğine, bütünlüğüne, kullanılabilirliğine, kimlik doğrulamaya ve mahremiyete zarar vermeyi hedefleyen AUS’a yönelik siber güvenlik tehditleri, birbiriyle kesişen fiziksel, kablosuz ve ağ saldırıları olmak üzere üç temel kategoride incelenebilmektedir. Bu çalışmada, AUS alanında yer alan farklı uygulamalara yönelik siber saldırılar, bu saldırıları önlemeye yönelik geliştirilen çözümler, kullanılan teknolojiler ve siber güvenlik uygulamaları bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Ayrıca, Türkiye’de AUS alanında siber güvenlik çalışmalarına ilişkin mevcut durum ortaya koyularak boşluk analizi yapılmış, tespit edilen sorunların adreslenmesinde, iyi uygulama rehberi niteliğinde ulusal ölçekte bir beyaz kitap önerisi sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: akıllı ulaşım sistemleri; siber güvenlik; siber tehdit; boşluk analizi; beyaz kitap

Cyber Security in Intelligent Transport Systems: Current Status in Türkiye and Recommendations

Abstract

Intelligent Transportation Systems (ITS) are advanced applications that aim to provide innovative services in different modes of transportation and traffic management areas and enable road users to be better informed, use transportation networks more effectively, efficiently and safely. ITS consists of a complex set of interconnected systems, including

vehicles, traffic lights, drivers, sensors, roadside units and other infrastructure components. At the same time, ITS improves travel efficiency, public safety, emergency response and significantly affects the quality of life of road users by offering many innovative applications such as optimal traffic signal control, safe intersection crossing, and emergency warning notifications. In this context, cyber security of ITS components is an important factor in ensuring uninterrupted transportation services and cybersecurity threats to ITS, which aim to damage the confidentiality, integrity, availability, authentication and privacy of data, can be examined in three basic categories: physical, wireless and network attacks that intersect with each other. In this study, cyber-attacks against different applications in the field of ITS, solutions developed to prevent these attacks, technologies used and cyber security practices are discussed from a holistic perspective. In addition, a gap analysis is made by revealing the current status regarding cyber security studies in the field of ITS in Türkiye, and a national white paper is proposed as a good practice guide to address the identified problems.

Keywords: intelligent transportation systems; cyber security; cyber threat; gap analysis; white paper

1. Giriş

Dünyada birçok ülkede; belediye, eyalet, hükümet gibi çeşitli kurumlar tarafından, yüksek yoğunluklu trafik akışını kontrol altına alarak ulaşımı daha verimli hale getirmek, yol güvenliğini ve emniyetini artırmak, yeni ekonomik fırsatlar oluşturmak, ekolojik ve çevresel olumsuz etkileri azaltmak amacıyla akıllı şehir bileşenlerinden biri olan akıllı ulaşım alanında, teknolojiler ve politikalar geliştirilerek geleneksel ulaşım paradigmasını dönüştüren çalışmalar yapılmaktadır. Bu dönüşüm, veri akışına dayalı olarak veri toplama, analiz, bilgi işleme, ağ oluşturma ve karar verme faaliyetlerini birleştirmekte olup geliştirilen çözümlerde nesnelerin interneti (IoT) ve buna bağlı olarak Siber-Fiziksel Sistemler (Cyber-Physical Systems, CPS) gibi teknolojilerin kullanılmasını gerektirebilmektedir [1],[2]. CPS'nin temel alanlarından biri olan AUS [2], seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin verimli kullanılması, hareketliliğin artırılması, enerjinin verimli kullanılması ve 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 sistemlerden oluşmaktadır [3]. Trafik sinyalizasyon ve şerit kontrol sistemleri, bağlantılı araç yol kenarı haberleşme cihazları, otonom araçlar ve kooperatif hareketlilik gibi geleneksel ve yenilikçi AUS çalışmalarının sayısı artarken, AUS alanındaki teknolojiler de hızla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. Bu gelişmeler, etkin ve verimli yenilikçi hareketlilik çözümlerini mümkün kılarken potansiyel siber güvenlik açıklarını da beraberinde getirmektedir.

AUS uygulamaları arasında yer alan ücret toplama, navigasyon ve trafik sinyalizasyon sistemleri, trafik gözlem kameraları, hız ölçüm sensörleri, dinamik mesaj sistemleri, otonom ve bağlantılı araç hareketlilik teknolojileri, araç içi bilgi ve haberleşme sistemlerinde karşılaşılan siber tehditler, ülkeler için önemli ve büyük riskler içermektedir. Araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya (V2I), altyapıdan altyapıya (I2I), araçtan her şeye (V2X) gibi haberleşme teknolojileri ile kooperatif akıllı ulaşım sistemleri (K-AUS) unsurlarına yönelik siber güvenlik zafiyetlerinin belirlenmesi ve önlemler alınması, muhtemel ulaşım sorunlarının engellenmesini sağlayabilmektedir. AUS bileşenlerine ve ekosistemine yönelik siber tehdit ve zafiyetler; trafik sıkışıklığı, kazalar, malî kayıplar gibi olumsuz durumlara sebep olma potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca yıkıcı etkileri olabilecek siber saldırılarla karşı karşıya kalınması

da söz konusu olabilmektedir. AUS; farklı çalışma dinamikleri, limitli zaman gereksinimleri ve karmaşık veri modeli yaklaşımıyla karakterize edilen karmaşık bir yapı olduğundan, bu sistemlerde oluşabilecek sürekli gelişen ve çeşitlenen siber tehditlerin tespit edilmesi ve siber güvenliğin her seviyede sağlanması önemli bir gereksinimdir [4].

AUS alanında siber güvenlik konusunu ele alan bu çalışmanın temel özellikleri ve önceki çalışmalardan farkları aşağıda özetlenmiştir:

- AUS alanında tespit edilen siber güvenlik zafiyetleri, karşılaşılan siber saldırı türleri, kullanılan siber güvenlik standartları ve yaşanan zorluklar bütüncül bir bakış açısıyla sunulmuştur.
- AUS siber güvenlik uygulamalarında geleneksel ve yenilikçi yaklaşımlar incelenmiştir.
- Türkiye’de AUS alanında siber güvenlik çalışmalarının mevcut durumu araştırılmış ve boşluk analizi yapılmıştır.
- Türkiye’de AUS alanında siber güvenlik risklerinin daha iyi anlaşılması ve bu riskleri azaltacak çözüm yöntemleri geliştirmek için bir dizi önlem ve talimat içerecek yol haritası niteliğinde beyaz kitap önerisi sunulmuştur.

2. Akıllı ulaşım sistemlerinde siber güvenlik

Çeşitli sensörlerden toplanan verilerin, kablolu ve kablosuz haberleşme teknolojileri ile iletilmesine dayanan AUS’un siber güvenlik tehditlerine karşı savunmasızlığı, AUS’a yönelik siber saldırı sayılarında gözlemlenen artış, otonom ve bağlantılı araçların akıllı yollarda yerini alması gibi nedenlerle AUS alanında siber güvenlik tehditlerinin tespit edilerek ele alınması önem arz etmektedir [5]. AUS, teknolojik gelişmelerdeki dönüşüm ve değişimlerden hızlı etkilenen ve yenilikçi yaklaşımları bünyesine katabilen bir alan olduğundan, AUS alanında siber güvenliğin sağlanması, ulaşım sistemlerinin güvenliği, emniyeti ve verimliliği için bir önemli bir gerekliliktir.

2.1 Siber güvenlik

Güvenlik, her sistemin temel gereksinimi olmakla birlikte, AUS gibi insan yaşamını doğrudan etkileyen alanlarda daha kritik bir hâl almaktadır. AUS haberleşme teknolojilerinde erişilebilirlik, karmaşıklık ve bağıllık unsurlarının seviyelerinin yüksek olması nedeniyle güvenlik ihlalleri olasılığı da fazla olmaktadır [6]. AUS’ta eşler arası iletişim (peer-to-peer communication) ile merkezi noktaların olmaması, düğümlerin yüksek hareketlilik içermesi ve sınırlı ağ altyapısına sahip kablosuz bağlantı kullanılması gibi nedenler, sistemi siber saldırılara karşı savunmasız hale getirmektedir. Dinamik topolojisi ve hızlı hareket eden düğümler, AUS’a ağda akan tüm bilgileri doğrulamak için sınırlı bir süre sunmakta ve bu durum ek güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir [2].

AUS, araçlar ve yol kenarı üniteleri (Road Side Unit, RSU) gibi *fiziksel*, paylaşılan veriler ve ağ haberleşme protokolleri gibi *mantıksal* ve Araçlara Özel Ağları (Vehicular Ad-hoc Networks, VANET) kullanan *insan* varlıklarından oluşmaktadır. Fiziksel varlıklar, araçların trafik durumuna ilişkin veri üretimi, diğer araçlara rota bilgisi sağlama, kritik verilerin (kullanıcı bilgisi, uyarı mesajları vb.) saklanması gibi yol ağı üzerinde farklı birçok rolü üstlenmektedir. RSU’lar siber saldırılara karşı savunmasızdır ve saldırganların VANET’e girmesi için geçitlerden birini oluşturmaktadır. RSU’nun siber bir riske maruz kalması durumunda, burada depolanan veriler tehlikeye girmekte ve altyapı ile iletişim güvensiz hale gelebilmektedir. Ayrıca burada ağdaki kullanıcıların emniyet ve kimlik güvenliği ile gizliliği kritik öneme sahiptir [7]. Farklı araçlar ve

ardışık RSU'lar arasında kaza uyarısı, kimlik, konum bilgisi, yol durumu gibi kritik bilgiler, özel verilerin ve hayati mesajların paylaşılabilmesi çözümleri, VANET'ler sayesinde mümkündür. VANET kullanıcılarının emniyet ve güvenliği bağlamında, paylaşılan bu verilerin gizlilik, bütünlük ve kullanılabilirliğinin sağlanması, önemli bir güvenlik gereksinimidir. Güvenli V2X haberleşmesi sağlamak ve VANET'in fiziksel varlıklarını (AUS altyapısını) güvence altına almak için (i) gizlilik, (ii) bütünlük, (iii) kullanılabilirlik, (iv) kimlik doğrulama ve (v) mahremiyet güvenlik gereksinimlerinin garanti edilmesi gerekmektedir [7]. Bu bağlamda, AUS alanında ihtiyaç duyulan genel güvenlik gereksinimleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. AUS güvenlik gereksinimleri

Literatürde, AUS alanında siber güvenliğin önemi, otonom ve bağlantılı araçları hedefleyen siber saldırılar ve bu saldırıları önlemeye yönelik geliştirilen yöntemleri inceleyen birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda sahte mesajların, bağlantılı ve otonom araçlarda yüksek tehdit unsuru oluşturması sebebiyle kimlik doğrulama ve istenmeyen davranış tespit yöntemleri, öne çıkan çözümler arasındadır. Ayrıca AUS'un bileşenlerinden biri olan Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) verilerinin manipüle edilebilme ihtimali ile yol kullanıcılarını tehlikeye atabilecek düzensiz ve hatalı manevralara neden olabilme olasılığı bulunmaktadır. Bu riskler, güvenli GNSS sinyali ihtiyacını ve buna yönelik tedbirlerin önemini ortaya çıkarmaktadır. Diğer yandan Araç Üstü Ünite (Onboard Unit, OBU)'nin yazılım güncellemesi ve varsa AUS mimarisi gibi mevcut standartlaştırılmış çerçevelerde temel değişikliklerin yapılması da AUS bileşenlerinin siber güvenliğinin sağlanmasında etkilidir [8].

Asya ve Avrupa Birliği (AB) ülkeleri ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından, AUS teknolojileri ve politikalarının geliştirilmesine önem verildiği görülmektedir. Bu kapsamda, dünyada trafik yönetim sistemleri, otomatik ücret toplama sistemleri, hava durumu tahmin sistemleri, hız tespit sistemleri vb. AUS çözümlerinde, siber güvenlik konusu adreslenmektedir. Ayrıca V2V, V2I, I2V gibi haberleşme teknolojileri ve gelişmekte olan otonom, bağlantılı ve kooperatif hareketlilik gibi yenilikçi AUS uygulamalarına yönelik siber tehditler ve güvenlik çözümlerine yönelik araştırmalar devam etmektedir [9].

2.2 Siber güvenlik zafiyetleri

Çevredeki araçlar, altyapı bileşenleri ve diğer ağlardan toplanan verilerin AUS tarafından kullanılması ile gerçek zamanlı yönetim kararları alınması sağlanabilmektedir. Böylece AUS,

trafik sıkışıklığını önemli ölçüde azaltırken aynı zamanda yol kullanıcılarının emniyetini ve güvenliğini artırmayı da vaat etmektedir. Ancak, ağ bağlantılı haberleşmeye olan bu bağımlılık, siber saldırılara karşı savunmasızlığı da beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda bağlantılı ve otonom araçlar, sensör ölçümleri ile aktüatör verilerini kullanmak için dahili (on-board) bilgisayarları kullandığından, siber saldırılara maruz kalabilmekte ve aracın tam kontrolü saldırganların eline geçebilmektedir. Bu tür saldırılar, genellikle bir düzeyde fiziksel mevcudiyet gerektirmekte veya emniyet-kritik kontrol sistemlerinin, diğer ilgili olmayan alt sistemlerden yeterince izole edilmemesinden kaynaklanabilmektedir [10].

Çok sayıda AUS uygulamasına konum ve zaman bilgisi sağlayan GPS (Global Positioning System), Galileo, GLONASS (Global Navigation Satellite System) ve BeiDou gibi küresel uydu konumlandırma sistemleri (GNSS), yol kullanıcıları için önemli bir altyapı bileşeni olup bu sistemlerdeki güvenlik açıkları, kritik tehditler içermektedir. GNSS'teki güvenlik açıkları; (i) sistemle, (ii) yayılma kanalıyla ve (iii) kasıtlı ya da kasıtsız müdahale (Interference) ile ilgili olmak üzere genel olarak üç kategoride incelenmektedir [11]. GNSS alıcısını aldatarak tespitten kaçabilen sinyallerin üretilmesini zorlaştırabilecek, çeşitli sahtecilik saptama yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan Alıcı Otonom Bütünlük İzleme (Receiver Autonomous Integrity Monitoring, RAIM) teknolojisi yedek uydulardan faydalanarak, tutarsızlığa neden olan ve bütünlüğü bozan durumları kontrol altına almak için yaygın kullanılan bir tespit yöntemidir. Ayrıca sinyal genliği ile her sinyalin polarizasyonunu ve varış açısını ölçmek için sensör dizileri gibi ek sinyal özellikleri ise bu kapsamda yararlanılan daha karmaşık tespit yöntemleri arasındadır. Tespit yöntemlerindeki bu ilerleme ve gelişmelere rağmen, bunların bazıları veya tümünün varlığında gizli kalarak uygulanabilen siber saldırıların olduğunu gösteren çalışmalar da bulunmaktadır [10]. GNSS'nin siber güvenlik zafiyetleri [12], Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. GNSS siber güvenlik zafiyetleri

Otonom araçların kullanımı, AUS'un güvenliği ve sürüş verimliliğini artırmak için umut verici bir teknoloji olmakla birlikte, V2X teknolojisi sayesinde araçların tüm altyapı bileşenleri ile iletişimi ise hizmet reddi (Denial of Service, DoS), sahtecilik (spoofing) ve koklama (sniffing) saldırıları gibi farklı siber saldırı türlerine karşı savunmasızdır [13]. Ayrıca bağlantılı ve otonom araçlar, kamera ve LIDAR (Light Detection and Ranging) gibi araç üstü yerleşik sensörler ve

yüksek çözünürlüklü haritalarda tanımlanan özellikleri kullanarak yaklaşık konum belirleyebilmektedir. Burada araç üstü yerleşik sensörlerdeki özellikleri ve yüksek çözünürlüklü haritaya ilişkin bilgileri değiştirebilen saldırılar ve güvenlik açıkları bulunmaktadır.

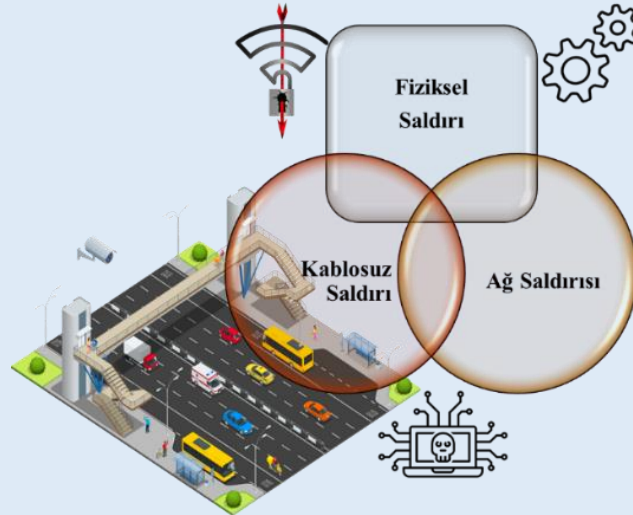
AUS'un siber güvenliğine ilişkin odaklanılan ilgi çekici konular arasında hücresel araçtan her şeye (Cellular Vehicle-to-Everything, C-V2X), tahsis edilmiş kısa mesafeli haberleşme (Dedicated Short Range Communication, DSRC) ve ITS-G5 ile ilgili güvenlik standartları ve açıkları yer almaktadır. Bazı durumlarda bir mesajın kaynağının kimliğini doğrulamak için hafif şifreleme yöntemleri uygulanabilmesine rağmen, kaynağın doğru olduğunu garanti etmemektedir. Ayrıca C-V2X, saldırganların kimlik sahteciliği ve DoS saldırıları gerçekleştirmesine izin verebilecek ek güvenlik açıkları içermektedir [10].

İhlal edilmiş bir değişken mesaj işareti üzerinde oluşan etkiler ve güvenlik açıkları çerçevesinde yapılan bir çalışmada [14]; sürücü davranışları ve ulaşım emniyeti, güvenliği ile güvenilirliğine yönelik olumsuz etkiler sistematik olarak incelenmiş olup politika yapıcılar ve uzmanlar için düzenli olarak farkındalık oluşturmak, bu alanda araştırma ve uygulamaları teşvik etmek, işletmeci ve karar vericiler için tehlikeye girmiş bir sistemin önceliklendirilmesinde öngörü sağlamaya ilişkin hususlara dikkat çekilmiştir.

AUS alanında genel güvenlik zafiyetlerinin kablosuz ve hücresel haberleşme, fiziksel ve sanal katmanların entegrasyonu, eski ve yeni sistemlerin birlikte çalışabilirliği, artan otonom ve bağlantılı ulaşım ile bilgi teknolojileri içeren diğer tüm uygulama, faaliyet ve bileşenlerdeki açıklardan kaynaklandığı gözlenmektedir [15].

2.3 Siber saldırılar

AUS siber saldırı vektörleri, Şekil 3'te gösterildiği gibi birbiriyle kesişen (i) fiziksel, (ii) kablosuz ve (iii) ağ saldırısı olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Saldırı kategorileri arasındaki kesişme, saldırı vektörlerinin, bir kategoriden diğerine nasıl kolayca geçebileceğini veya farklı saldırı türlerinin, AUS cihazlarını ve sistemlerini siber güvenlik açıklarına başarılı bir şekilde maruz bırakmak için nasıl bir araya geleceğini temsil etmektedir [9].



Şekil 3. AUS saldırı vektörleri

AUS altyapısı bileşenleri, yollarda ve yol kenarlarında fiziksel olarak korunmasız bir şekilde bulunabilmekte ve herkes tarafından erişilebilir durumdadır. V2V, V2I ve I2I gibi kablosuz iletişim teknolojilerinin, gelecekteki AUS faaliyetlerinin omurgasını oluşturacağı

değerlendirildiğinde, siber güvenlik sorunlarının ortaya çıkması muhtemeldir. AUS'u hedefleyen siber saldırıların büyük bir bölümünün ağ trafiğinden kaynaklanması nedeniyle de internete açık AUS uygulamalarının birçoğu siber tehditlere karşı savunmasız durumdadır [9].

AUS siber saldırıları genel olarak (i) iletişimin kesintiye uğratıldığı DoS [13], (ii) saldırganın sistemin bir kısmını veya tamamını kontrol etmeye çalıştığı kaçırmaya (hijacking), (iii) ele geçirilen iletişimlerden bir saldırganın özel bilgi toplamaya çalıştığı gizlilik ve (iv) iletişimin hile ya da tuzak amaçlı değiştirildiği sahtecilik olmak üzere dört kategoride karşımıza çıkmaktadır [10].

AUS'a yönelik siber tehditleri, (i) kimlik doğrulamayı hedefleyen saldırılar ve (ii) kullanılabilirliği hedefleyen saldırılar olmak üzere iki kategoriye ayıran [7]'deki çalışmada, RSU'lar ve araçlar gibi fiziksel varlıklara yönelik sybil, kimliğe bürünme (impersonation), gizlice dinleme (eavesdropping), kimlik ifşası (ID disclosure), sahtecilik (IP spoofing/MAC address spoofing, uygulama veya hizmet sahteciliği), kötücül yazılım entegrasyonu, sıkışma (jamming), taşma (flooding), kara delik (black hole) ve ortadaki adam (man-in-the-middle) saldırıları ile ilgili yüksek saldırgan motivasyonu incelenerek niteliksel bir risk analizi yapılmış ve bu saldırıları önlemeye yönelik öneriler paylaşılmıştır.

AUS alanında karşılaşılan yaygın diğer bir saldırı türü ise kablosuz yönlendirici ya da mobil düğümü işgal etmek ve aracın kaynaklarının kontrolünü ele geçirmek için çok sayıda mesaj veya istek göndererek başlatılan DoS saldırıdır. Ayrıca saldırganların düğümlere sahte konum bilgisi gönderdiği GPS sahteciliği saldırıları ile araç sistemlerine ve kullanıcılarına ait gizli veya hassas verileri elde etmek için başlatılan port tarama gibi koklama saldırıları bulunmaktadır. Saldırganlar tarafından araç ağlarında veya sistemlerinde şifreleri kırmak için kaba kuvvet (brute force) saldırıları, araçların veya sunucuların web ara yüzüne izinsiz girmek için saldırganlar tarafından yapılan SQL (Structured Query Language) enjeksiyon saldırıları ve siteler arası komut dosyası çalıştırma (cross-site scripting-XSS) dahil olmak üzere web saldırıları da AUS alanında karşılaşılan diğer siber saldırı türleri arasındadır [13]. AUS bileşen ve uygulamalarına en çok yapılan siber saldırı türlerinin dağıtık hizmet reddi (Distributed Denial of Service, DDoS), kötücül yazılım ve ortadaki adam saldırıları olduğu görülmüştür [16], [17].

Güvenilir olmayan kablosuz ortam aracılığıyla iletişim kuran akıllı araçlar ve RSU'lardan oluşan VANET'ler, mobil geçici ağların (mobile ad hoc network, MANET) hızla büyüyen alt kümelerinden biridir. Yaşamı tehdit eden durumlarla sonuçlanabilecek saldırılara karşı hassas olmaları nedeniyle VANET'lere yönelik saldırıları tespit etmek için güvenlik mekanizmaları geliştirmek hayati önem taşımaktadır. [18]'de yazarlar, VANET ve IoV'lere yönelik olası saldırıları ve literatürde önerilen ilgili tespit mekanizmalarını araştırarak saldırıları, sınıflandırılmış etkileri ile birlikte açıklamış, çözüm önerilerini, avantaj ve dezavantajları ile birlikte sunmuşlardır. İncelenen çözümler doğrultusunda bütünsel bir bakış açısı sağlayan bir değerlendirme yapılmıştır. VANET'lere yönelik olarak sybil, hizmet reddi, kara delik, solucan deliği, sahte bilgi (bogus information), yanlış konum bilgisi (false position information), sensör kurcalama (sensor tampering), illüzyon (illusion), GPS sahteciliği, tekrarlama (replay), pasif dinleme (passive eavesdropping) gibi saldırılar ile birlikte, saldırganların yönlendirme protokollerinin güvenlik açıklarından yararlandığı diğer birçok saldırı türü bulunmaktadır [18].

Araçların internetine (IoV) yönelik olarak araçlar arası (inter-vehicle) ve araç içi (intra-vehicle) sistemlerdeki birçok zafiyetten yararlanılan saldırılar bulunmaktadır. Bu saldırıların yanında, AUS uygulamalarını adresleyen ve veri bütünlüğüne yönelik, yanlış veri (false data) ve SQL

enjeksiyonu içeren, trafik sinyalizasyon sistemlerini ve video gözlem sistemlerini hedefleyen diğer saldırı türleri de gözlemlenmektedir [2] [13] [18] [19].

AUS alanında bağlantılı bileşenlerin popülaritesinin artması, daha büyük siber saldırı risklerini ortaya çıkarmakta, bu durum araç tasarımlarında siber güvenliğin daha güçlü bir şekilde uygulanmasını zorunlu hale getirmektedir. [20]'deki çalışmada bağlantılı araçların maruz kaldığı sahtecilik saldırısı, sensörlerin işlevsiz hale getirilmesi, hedef saptırma, yan kanal saldırıları gibi aktif saldırılar ve ortadaki adam gibi pasif saldırılara değinilerek modern bir aracın "tamamen bağlantılı" ve sadece en zayıf halkası kadar güçlü olduğu belirtilmektedir.

2.4 Siber güvenlik standartları

Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) özellikle AUS siber güvenliği konusunda 260'ın üzerinde spesifikasyon ve standart yayınlamıştır [21]. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization, ISO) tarafından hazırlanan AUS siber güvenliğini içeren temel bir standart çalışması da bulunmaktadır [22]. Ayrıca ABD Ulaştırma Bakanlığı; Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (National Institute of Standards and Technology, NIST) ile siber güvenlik çerçevesini bağlantılı araç sistemlerini ele alacak şekilde uyarlamak için iş birliği yapmıştır [23]. Birleşik Krallık Ulaştırma Teknolojisi Forumu, kurumların verilerini güvende ve emniyette tutabilmeleri için AUS'un siber güvenlik standartları konusuna da değinen bir kılavuz hazırlamıştır [24]. Literatürde AUS siber güvenlik standartlarına yönelik çalışmalar bulunmasına rağmen, bu alanda kapsamlı ve kabul görmüş bir strateji henüz oluşturulmamıştır [4]. Ayrıca C-V2X'in güvenlik uygulamalarına ilişkin henüz resmi olarak yayınlanmış standartlar bulunmamaktadır [10].

2.5 Siber güvenlik zorlukları

AUS alanında güvenlik ve gizlilik konularının ele alınması, karşılaşılan sorunların çözümü için mühendislik ve tasarım açısından çok sayıda zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların bazıları aşağıda listelenmiştir [25]:

- AUS'un farklı işlevlere ve hedeflere sahip çok sayıda teknoloji ve bileşenden oluşan heterojen (değişken) yapısı,
- AUS teknolojilerindeki artan gelişme ve benimseme oranının, güvenlik çözümleri üzerinde ölçeklenebilirlik ve genişletilebilirlikten oluşan iki temel zorluğu ortaya çıkarması,
- AUS güvenlik çözümleri için haberleşme teknolojisi altyapısının güvenilmezliği, dağıtık ağ mimarisinin hesaba katılması gerekliliği,
- Akıllı ulaşım alanını oluşturan bileşen ve faaliyetlerin karmaşıklığı,
- AUS uygulamalarında kullanılan bileşenlerin genellikle ekonomik, düşük enerjili ve küçük boyutlu olması nedeniyle sınırlı bellek ya da depolama alanı gibi kaynak kısıtlaması içermesi,
- Gerçek zamanlı veri ihtiyacı ve gecikme hassasiyeti,
- Gizli anahtarların güvenli bir şekilde saklanması ve kullanılması gereksinimi,
- Zaman içinde değişebilen dinamik yapıdaki güvenlik ve gizlilik tercihleri,
- Saldırılarına karşı korunması gereken kritik AUS varlıklarının belirlenmesi,
- Araçların hareketlerinin zamanla değiştiği dinamik trafik düzeni nedeniyle AUS siber güvenliği için standart bir model oluşturmanın zorluğu [5].

AUS alanında siber tehditlere ilişkin farkındalığın, paydaşlar arası bilgi alışverişinin ve yetişmiş insan kaynağının yeterli düzeyde olmaması, eski ve yeni sistemleri birlikte işletme gereksiniminden kaynaklanan olumsuzluklar ve güvenlik önlemlerini uygulamada etkili olan denetimlerin yetersizliği, bu alanda siber güvenliğin sağlanmasında zorlayıcı unsurlar arasında değerlendirilebilir.

3. Akıllı ulaşımda siber güvenlik yaklaşımları

AUS alanında siber güvenliğin sağlanması; ulaşım, emniyet, güvenlik ve verimlilik parametrelerini doğrudan etkileyen karmaşık bir görevdir. Kapsamlı bir AUS mimarisi ve standartları ile birlikte belirli güvenlik standartlarının uygulanması, akıllı ulaşımın gelişimindeki kilit adımlardan birini oluşturmaktadır [4].

AUS alanında siber güvenliğin sağlanmasına ilişkin faaliyetler, sadece hassas bilgilerin yetkisiz olarak ifşa edilmesini önlemekle ilgili olmayıp aynı zamanda sistemin çalışmasını bozabilecek veya değiştirebilecek çok çeşitli tehditleri de ele almaktadır. Şekil 4'te gösterildiği gibi, temel olarak AUS alanında güvenlik hedeflerini destekleyen ve belirlenen tehditlere karşı koruma sağlayan güvenlik hizmetleri seçilmektedir. Belirli bir sistem için gerçekleştirilen bir analiz, tehditlerin analizine, bu tehditlere karşı sistem güvenlik açıklarına ve güvenlik hizmetinin maliyetini, tehdidin olasılığına ve gerçekleşmesi durumunda sonuçlarına karşı dengeleyen genel bir risk analizine dayanmaktadır [26].



Şekil 4. AUS siber güvenlik yaklaşımı

AUS alanının multidisipliner, ulaşımın farklı türlerini ilgilendiren, çok paydaşlı ve birçok bileşeni içeren yapısı gereği, burada yer alacak siber güvenlik yaklaşımlarının da çok boyutlu düşünülerek tasarlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, AUS uygulamalarının siber güvenliğinin sağlanmasında geleneksel yöntemlerin yanında akıllı, proaktif ve yenilikçi yaklaşımlara da ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1 Geleneksel yöntemler

AUS, şehirlere yenilikçi bir ulaşım yaklaşımı sunmasına rağmen, siber güvenlik alanında kazanılan deneyimlerden de yararlanılmaktadır. Siber güvenlik açısından güçlü kimlik doğrulama, şifreli iletişim, şifre yönetimi, düzenli denetim, özel ağ ve güvenli yönlendirme gibi klasik yaklaşımların bazıları, AUS siber güvenliğinin sağlanmasında kilit rol oynamaktadır. Kriptografik yöntemler, siber güvenliğin merkezinde yer alırken ağ segmentasyonu ise hem ağ güvenliğini hem de verimliliği artıran bir başka klasik yaklaşımdır [4].

Siber saldırılara karşı erişim kontrol yönetimi, güncel uygulamaların ve güvenlik yazılımlarının kullanımı, kullanıcı eğitimi ve güvenliği sağlayacak donanımlardan faydalanılması; alınabilecek siber güvenlik tedbirlerinin başında gelmektedir [16].

Otonom [27] ve bağlantılı ve araçlara yönelik siber saldırıları adreslemede sezgisel bir yöntem, beklenen ve ölçülen davranışlar arasındaki farkın, önceden belirlenmiş bir eşik aşması durumunda bir güvenlik planının etkinleştirilmesi gerektiğine yöneliktir [28]. Araçlar ve diğer cihazlar arasındaki iletişim sırasında, ağ trafik verileri aracılığıyla anormal bilgi ve saldırıları tespit etmek için saldırı tespit sistemleri, etkili bir güvenlik mekanizması sunmaktadır [13].

Saldırgan davranışına ve bilgi analizine dayalı olarak iç kaynaklı saldırıları tespit edebilen kötücül davranış tespit mekanizmaları, [29]'deki çalışmada incelenerek gizliliğin ön planda olduğu K-AUS ekosistemine yönelik saldırılar irdelenmiş, açık anahtar altyapısı temelli bir siber güvenlik yaklaşımının eksiklikleri ortaya koyulmuştur. Burada kötücül davranış tespit mekanizmaları için bir sınıflandırma geliştirilerek gelecekteki olası araştırma alanları ve sorunları incelenmiştir.

Literatürde bazı çalışmalar, siber saldırıları tespite yönelik olarak anomali tespit problemini tamamen veri odaklı bir perspektiften ele alırken diğerleri dinamik modeller veya diğer bağlamsal bilgileri kullanarak sensör ölçümlerini beklenen değerleriyle karşılaştırmaktadır. Hemen hemen tüm saldırı tespit algoritmaları, ikinci yaklaşımı izlemekte ve ölçüm değeri ile beklenen ölçüm arasındaki fark olarak tanımlanan ölçüm kalıntısını (measurement residual) kullanmaktadır. Diğer yandan saldırganların anormal ölçümlerle sonuçlanmayan bir saldırı gerçekleştirme ihtimali bulunduğundan, anomali tespit algoritmaları, akıllı ulaşım alanında emniyetli ve eşitlikçi operasyon sağlamak için yetersiz kalmaktadır [10].

3.2 Yenilikçi yaklaşımlar

Son zamanlarda AUS güvenlik stratejilerinde yenilikçi yaklaşımlara odaklanıldığı gözlemlenmektedir. Yenilikçi yaklaşımlar listesinde, blokzincir, çiçeklenme filtresi (bloom filter), sis bilişim, yapay zekâ (AI), oyun teorisi ve ontolojileri yer almaktadır [4]. Ulaşım sistemlerinin daha verimli hale getirilmesinde, makine öğrenmesi (ML) tekniklerinden etkin bir şekilde yararlanıldığı; özellikle son yıllarda, geleneksel ML modellerinin, yeni öğrenme teknikleri ile değiştirildiği, AUS alanında derin öğrenme (DL) tekniklerinin yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandığı görülmektedir [30].

AUS alanında siber güvenliğin sağlanması, saldırı tespit ve önleme sistemlerinin geliştirilmesinde AI teknolojilerinin kullanılmasının gerekliliği [16]'te analiz edilmiştir. AUS'ta siber güvenlik ile ilgili zorlukların üstesinden gelmek için [5]'te veri füzyonu tabanlı bir siber güvenlik tehdit tespit yöntemi önerilmiştir. AUS sistemlerinin güvenliği doğrultusunda modellerin incelendiği [17]'de, AUS bileşenlerinin ve uygulamalarının güvenliğinin, AI ile geliştirilmiş ve güvenlik algoritmalarının uygulandığı saldırı tespit ve önleme sistemleri kullanılarak artırılması gerektiği vurgulanmıştır. VANET'leri hedef alan farklı tehditlerin

niteliksel bir risk analizi ve AUS'un güvenliğini artırmak için ML tekniklerinin kullanılması [7]'de önerilmiştir. ML yöntemlerinin, siber risklerin derinlemesine tahminine dayalı bir analiz ve doğru uygulanmasıyla bir güvenlik ihlaliyle ilişkili potansiyel riskleri ve maliyetleri azaltmak için bağlamsal bilgiler sunabileceği paylaşılmıştır.

Blokszincir, verilerin güvenliğini etkili bir şekilde sağlamak için mahremiyeti koruyan bir dağıtık defter kullanarak sabotaja karşı dayanıklı bir teknoloji sağlamaktadır. Bu teknoloji, ağdaki güvenilir düğümlerin hesaplama yeteneklerinden yararlanarak saldırganların düşmanca etkisini ortadan kaldırmaktadır. [31]'da yazılım tabanlı ağların merkezden yönetilmesinde blokszincir teknolojisi kullanılarak AUS'un etkili ve verimli bir şekilde uygulanması için uç bilişim teknolojilerinden faydalanan güvenilir bir çerçeve sunulmuştur. Bu çerçeve ile birlikte çalışabilirlik, daha az bilgi sızıntısı ve çok yönlü akıllı araçlar ile hizmet altyapısı arasında sorunsuz entegrasyon sağlanması hedeflenmiştir. loV'lerde siber güvenliğin sağlanmasında blokszincir uygulamalarının sistematik bir incelemesi [32]'de AUS ve IoT ile bunların siber güvenlik ve risk zorlukları bağlamında çevik yazılım geliştirmenin kapsamlı ve ayrıntılı bir incelemesi ise [33]'de sunulmuştur.

4. Türkiye'de AUS alanında siber güvenlik çalışmaları

AUS uygulamalarının her geçen gün artarak hayatımıza girdiği günümüzde, akıllı ulaşım faaliyetlerinde siber güvenliği sağlamak amacıyla daha önce yaşanan ve gelecekte yaşanması muhtemel saldırıların ve tehditlerin analizinin yapılması, güvenli yaklaşımlardan Türkiye'deki altyapı ve uygulamalar açısından en uygun olanların belirlenerek sistem tasarımından uygulamalara kadar her aşamada entegre edilmesi, önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.1 Mevcut durum

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak Türkiye'de, yıkıcı yenilikçi teknolojiler ve dijitalleşmedeki hızlı gelişmeler, siber tehdit unsurlarının da çeşitlenerek artmasına neden olmuştur. Bu durum, siber güvenlik konusunu, ulusal savunmanın temel bir bileşeni haline getirirken bu alana yönelik teknik ve idari yönetişimin önemini de artırmıştır. Toplumu etkileyen farklı alanları ilgilendiren güvenlik konuları, Türkiye'nin kalkınma planlarında yerini almakla birlikte, siber güvenlik kavramından ilk olarak 2013 yılında yayınlanan Onuncu Kalkınma Planında [34] yer almış, ardından 2018 yılında yayınlanan On Birinci Kalkınma Planında [35] ve son olarak ise 2023 yılında yayınlanan On İkinci Kalkınma Planında [36], ulusal siber güvenliğe ilişkin amaç, politika ve tedbirlere daha ayrıntılı bir şekilde yer verildiği görülmektedir.

Türkiye için siber güvenlik alanına ilişkin yol haritası niteliğinde strateji ve eylemler, Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı (2020–2023)'te belirlenmiştir [37]. Burada yer alan kritik altyapıların korunarak dayanıklılığın artırılması, kapasitenin ve organik siber güvenlik ağlarının geliştirilmesi, yeni nesil teknolojilerde güvenlik, siber suçlara karşı koyma, siber güvenlik konusunun milli güvenlik ile entegrasyonu, uluslararası iş birliğinin geliştirilmesi ile yerli ve milli teknolojilerin geliştirilmesi ve desteklenmesine yönelik stratejik amaçların; AUS uygulamaları, teknolojileri ve çözümlerinin siber güvenliğini de kapsadığı değerlendirilmektedir. Ancak Türkiye'de AUS alanında siber güvenlik konusunu ele alan çerçeve veya kullanım kılavuzu niteliği taşıyan bir doküman bulunmamaktadır. Diğer yandan Türkiye'de AUS uygulamalarında siber güvenlik konularını adresleyen birçok akademik çalışma olduğu, K-AUS teknolojileri ile ilgili hazırlanan tez çalışmalarının önemli bir bölümünün haberleşme teknolojileri ve akan verilerin güvenliğine odaklandığı görülmektedir [38].

Araç ağlarının güvenlik gereksinimleri analiz edilerek güvenliği ve mahremiyeti koruyan bir haberleşme protokolü [39]'da oraya koyulmuştur. [40]'de yer alan çalışma ile akıllı araçlarda yer alan V2V'nin siber güvenliği, güvenlik saldırıları üzerinden açıklanmıştır. Akıllı araçların siber zafiyetlerinin belirlenmesine ilişkin yeterli yöntemin olmadığını belirten [41]'deki çalışmada ise söz konusu araçlarda bulanık mantık temelli siber güvenlik risk modeli üzerinde araştırma yapılmıştır.

Mevcut durumda, Türkiye'de AUS'un siber güvenliği üzerine yapılan çalışmaların genel olarak kooperatif ve bağlantılı araçların güvenli haberleşmesine, araç ağlarında güvenlik ve mahremiyet konularına odaklandığı gözlenmektedir.

4.2 Boşluk analizi

Mevcut literatür çalışmaları ve uygulamalar göz önünde bulundurularak AUS'un siber güvenliğine ve Türkiye'de mevcut durum ile hedeflenen durum arasındaki farklara ilişkin değerlendirmeleri içeren boşluk analizi, aşağıda özetlenmiştir:

- AUS'a özel planlanmış ve hazırlanmış ulusal ölçekte resmi bir siber güvenlik politikası, stratejisi, usul, esas, kullanım kılavuzu, yol haritası vb. herhangi bir çalışmanın olmaması,
- Ulusal AUS mimarisinin henüz resmi olarak yayınlanmamış olması dolayısıyla AUS alanında siber güvenlik konusunda henüz farkındalığın yeterli düzeyde olmaması,
- Siber güvenliğe ilişkin geliştirilen politika, stratejiler ile uygulamaların genellikle kamuya açık olmaması,
- Güvenliğin tasarıma yerleşik olarak dahil edilmesi konusunda yeterli düzeyde uygulama pratiğinin bulunmaması,
- AUS uygulamalarında kablosuz haberleşme ağlarının yaygın kullanımı dolayısıyla ortaya çıkan tehditleri adreslemede zorluk yaşanması,
- Protokolleri ve modülasyon şemaları önceden belirlenmiş ve gizli olan kablosuz ağlara saldırmanın nispeten daha zor olduğu değerlendirmesi ile AUS'a özel tasarlanmış bir plan olmaması,
- Geliştirilen AUS yazılım ve donanımlarının, güvenli konfigürasyonlarla yapılandırılmış olduğu varsayımı,
- Mevcut ulusal siber güvenlik politika ve stratejilerinde AUS'u adresleyen hususların olmaması,
- AUS alanındaki siber güvenlik standartlarının sektörde yeterli düzeyde bilinmemesi,
- AUS çözümlerinin siber güvenliğine ilişkin gelişmiş risk değerlendirme araçlarının eksikliği,
- Gerçek zamanlı ve çok paydaşlı AUS uygulamalarına ilişkin siber güvenlik teknolojilerinin yaygın olmaması.

Türkiye için millî güvenlikle ilgili ortaya çıkabilecek muhtemel risklerin öngörülmesi bir şekilde planlanarak önlenmesi için AUS alanını da içerecek şekilde siber güvenlik konularının ele alınması, nitelikli insan kaynağı kapasitesinin geliştirilmesi ve mevzuat eksiklerinin tamamlanması gerekmektedir [35]. Türkiye'de mevcut ve yeni tasarlanacak AUS uygulamalarının kurulumu ve yaygınlaştırılmasında, kullanıma elverişlilik onaylarının verilmesinden önce hem siber hem de fiziksel açıdan karşılanması gereken asgari güvenlik standartlarını ortaya koyacak bir mevzuata gereksinim bulunduğu gözlenmektedir. Ayrıca,

ulusal politika ve stratejiler arasında, güvenlik sertifikasyon süreçlerini de içerecek şekilde uygulama usul ve esaslarının belirlenmesi hususuna yer verilmesi önem arz etmektedir.

4.3 Beyaz Kitap Önerisi

AUS bileşenlerinin karmaşıklığı ve potansiyel siber tehditlere açık olması nedeniyle bu alan özelinde belirlenecek siber güvenlik stratejisinin, mevcut durumda ve Türkiye'nin gelecek hedefleri çerçevesinde bir ihtiyaç olduğu gözlenmektedir. Kritik altyapı güvenlik açıkları göz önünde bulundurulduğunda, politika yapıcılar ve program yöneticileri için iyileştirmeye açık alanlar bulunmakta ve AUS'taki gelişmeler ile birlikte, siber güvenlik tehditlerinin çeşitlenmesi, yol kullanıcılarının emniyet, konfor ve güvenliğini tehdit eden bir unsur haline gelmektedir. Bu doğrultuda dünyada birçok çalışma yapılmış ve birçok güvenlik ilkesi önerilmiş olmasına rağmen, dinamik ve canlı bir ortam olan ulaşım ağında, kusursuz bir iletişim konusunda önemli endişeler bulunmaktadır.

AUS'un siber güvenliği ve iyi uygulama örneklerini içeren ve tüm altyapının güvenliğini tatmin edici bir performans seviyesinde bütüncül bir güvenlik yaklaşımı ile sağlamayı hedefleyen Ulaştırma Teknolojisi Forumu (Transport Technology Forum) tarafından hazırlanan Siber Yönlendirme Kılavuzu [24] ve ABD Ulaştırma Bakanlığı'nın yayınladığı Siber Güvenlik ve Akıllı Ulaşım Sistemleri En İyi Uygulama Kılavuzu [42] gibi yol gösterici dokümanlar bulunmaktadır. Türkiye için henüz AUS'u temel alan böyle bir kılavuz bulunmamaktadır.

Türkiye'de ulaşım paradigmasının her geçen gün dönüşümü değerlendirildiğinde; AUS'un siber güvenliğine ilişkin hedeflerin, ihtiyaçların, başarı kriterlerinin, yönetim süreçlerinin, yararlanılacak siber güvenlik test türleri ile teste hazır olma durumu dahil olmak üzere bir testin kapsamını belirleme metodolojisinin detaylı olarak tarif edildiği bir kılavuz, önemli bir gereksinimdir. Bu doğrultuda "*Türkiye AUS Siber Güvenlik Beyaz Kitabı*"nın, ilgili tüm paydaşların dahil olacağı bir çalışma ile hazırlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Söz konusu beyaz kitabın, akıllı ulaşımın farklı unsurlarını geniş bir çerçevede değerlendirerek güvenlik tedbirlerini ortaya koyması, yol emniyeti, trafik yönetimi ve diğer ulaşım ile ilgili operasyonları göz önünde bulundurması gerekmektedir. Ayrıca, saldırgan yetenekleri ve sistemler hakkında bilgi edinmeye ilişkin kolaylık sağlayacak yöntemleri ayrıntılı olarak ele almalıdır. Ulaşım faaliyetlerinde kesintisiz ve verimli bir erişilebilirliği sağlamak için siber saldırıları tespit etme, önleme ve bir saldırı sonrasında rutin AUS hizmetlerinin aksamadan devam edebilmesini sağlamak için ihtiyaç duyulan bilgileri içermelidir. Burada ulusal stratejiler ve politikalar dikkate alınarak Türkiye'nin vizyonu doğrultusunda, AUS'u güvenli bir şekilde kullanmayı mümkün kılacak hedefler belirlenmelidir. Belirlenecek hedefler kamu, özel sektör, akademi ve sivil toplum kuruluşları gibi tüm paydaşların görüşlerini dikkate alarak ilgili aksiyonların hızlı alınabilmesi için mevzuat ihtiyaçlarını da ortaya koymalıdır.

5. Sonuç ve değerlendirmeler

Akıllı şehirlerin önemli bileşenlerinden biri olan AUS, daha verimli kentsel ulaşım altyapısı oluşturmak için teknolojiyi geleneksel ulaşım altyapısıyla birleştirerek [2], trafik planlaması ve trafik yönetiminde karar vermeyi mükemmelleştirmeyi amaçlamaktadır. Akıllı ulaşım sektörü, ulaşımın tüm türlerini ilgilendiren, multidisipliner, çok paydaşlı, çok fonksiyonlu, birbiriyle etkileşimli bileşenden oluşan bir yapıda olup bu yapının temelini bilgi ve haberleşme teknolojileri oluşturmaktadır. Araçlar, trafik ışıkları, sürücüler, sensörler, yol kenarı birimleri ve diğer altyapılarla birlikte karmaşık bir bağlantılı sistemler bütünü oluşturan AUS; optimal trafik sinyal kontrolü, güvenli kavşak geçişi, acil durum uyarı bildirimleri gibi birçok yenilikçi

uygulamalar sunarak seyahat verimliliğini, kamu güvenliğini, acil durum müdahalesini iyileştirmekte ve vatandaşların yaşam kalitesini önemli ölçüde iyileştirmektedir. AUS, trafik hacmindeki dramatik artışlar karşısında verimliliği, emniyeti ve güvenliği artırmaya odaklanarak dünya genelinde hızla yaygınlaştığı için son yıllarda bu sistemler siber saldırıların hedefi olmuştur.

AUS uygulamaları, fiziksel, kablosuz ve ağ temelli sistemler olduğundan, kablosuz sensör ağları, trafik sinyal denetleyicileri, dinamik mesaj işaretleri ve V2X sistemler, siber saldırılara maruz kalan başlıca AUS bileşenleri arasında öne çıkmaktadır. Günümüzde yenilikçi AUS arasında yer alan ve sürücü hatasını ortadan kaldırarak sürüş emniyetini artırmanın bir yolu olarak değerlendirilen otonom ve bağlantılı araçlar, diğer siber-fiziksel sistemler gibi emniyet endişelerine yol açan siber saldırılara karşı savunmasızdır. Bağlantılı ve otonom araçlar, sürüş emniyeti açısından kritik eylemleri gerçekleştirmek ve verimliliği artırmak için dış kaynaklardan gelen mesajlara güvenerek hareket ettiğinden; artan bağlantılar, elektronik bileşenlerin ve yazılım odaklı sistemlerin eklenmesi, VANET sistemlerinde bağlantılı araçların siber tehditlere karşı korunmasını giderek daha karmaşık hale getirmektedir [7]. Daha fazla araç, cihaz ve altyapının dahil olmasıyla birlikte, geleneksel VANET'ler yavaş yavaş IoV'ye dönüştüğünden [10], VANET'lerin yüksek hareketlilik, dinamik ağ topolojisi ve tahmin edilebilir düğüm hareketleri gibi özel özellikleri nedeniyle bu ortama özel olarak geliştirilecek yeni algoritmalar ve protokollere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ağların güvenliği, ölüm kalım kararlarını etkileyebileceği için bu alanda araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. VANET'lerde saldırı, hatalı davranış tespiti karmaşık ve zorlu bir konu olduğundan protokol yığını çapında ve adaptif algılama teknikleri, hesaplamalı zekâ tabanlı yaklaşımlar, ML tabanlı saldırı tespit yöntemleri, gelecekteki çalışmalarda araştırılabilecek alanlar arasındadır [18].

AUS bileşenlerin güvenliğinin sağlanmasında, geleneksel yöntemlerin yanında günümüzde akıllı, proaktif ve yenilikçi yaklaşımlardan da yararlanıldığı görülmektedir. AUS siber güvenliğini sağlamaya yönelik geleneksel çözümler kriptografik, güçlü kimlik doğrulama, erişim yönetimi, özel ağ kullanımı, güncel uygulama ve güvenlik yazılım kullanımı, kullanıcı eğitimleri, güvenlik donanımlarının kullanılmasını içermektedir. AUS bileşenlerinin siber güvenliğini sağlamada blokzincir, çiçeklenme filtresi, sis bilişim, AI, oyun teorisi ve ontolojileri gibi yenilikçi yöntemlerden de yararlanılmaktadır.

AUS alanına yönelen sybil, DoS, kara delik saldırılarının birçok araştırmacı tarafından incelendiği, ancak iş birliği (cooperative) saldırı/saldırgan türleriyle ilgili alanın da araştırma potansiyeli olduğu görülmektedir. Ayrıca V2V/V2I haberleşme türlerinde, kablosuz haberleşmeyi tamamlayan Görünür Işık Haberleşmesi (Visible Light Communication, VLC) tekniğinden faydalanarak daha başarılı ve ayrıca aynı anda saldırı tespiti yapabilen araştırma ve çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Özetle, birçok farklı sistem ve bileşen içeren, çeşitli haberleşme türlerini kullanan, kablosuz ağ temelli birçok uygulama içeren AUS'un, kablosuz ağların doğası gereği karşı karşıya olduğu saldırılar da göz önünde bulundurulduğunda, güvenliğinin sağlanması oldukça karmaşık ve zor bir iştir. AUS alanında siber güvenliğin sağlanmasına yönelik birçok çalışma yapılmış ve güvenlik ilkesi önerilmiş olmasına rağmen, AUS'un dinamik ve gerçek zamanlı veri kullanan bir ortamda kusursuz performans sergilemesi konusunda hâlâ önemli endişeler bulunmaktadır. Bu çalışma ile AUS alanında siber güvenlik konusu, genel bir çerçevede ele alınmış, akıllı ulaşımda geleneksel ve yenilikçi siber güvenlik yaklaşımlarına yer verilmiştir. Türkiye'de AUS alanında siber güvenlik çalışmaları ve mevcut durum incelenerek ulaşım altyapısının tatmin

edici bir güvenlik seviyesinde performans göstereceği bütüncül bir güvenlik yaklaşımı sunacak “Türkiye AUS Siber Güvenlik Beyaz Kitabı”nın hazırlanması önerilmiştir. Hazırlanacak siber güvenlik beyaz kitabı ile tüm yol kullanıcılarının hem güvenliğinin hem de mahremiyetinin korunması, gelişen siber tehditlerle başa çıkılması hedeflenmiştir.

Kaynaklar

- [1] M. Batty vd., “Smart cities of the future”, *Eur Phys J Spec Top*, c. 214, sy 1, ss. 481-518, 2012, doi: 10.1140/epjst/e2012-01703-3.
- [2] J. D. Cabelin, P. V. Alpano, ve J. R. Pedrasa, “SVM-based Detection of False Data Injection in Intelligent Transportation System”, içinde *2021 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2021, ss. 279-284. doi: 10.1109/ICOIN50884.2021.9333942.
- [3] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, “Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı”. 2020. Erişim: 05 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-planı.pdf>
- [4] T. Mecheva ve N. Kakanakov, “Cybersecurity in Intelligent Transportation Systems”, Ağu. 2020, doi: 10.20944/PREPRINTS202008.0082.V1.
- [5] A. Chowdhury, R. Naha, S. Kaiser, M. A. Khoshkholghi, K. Ali, ve A. Galletta, “Information Fusion-based Cybersecurity Threat Detection for Intelligent Transportation System”, içinde *2023 IEEE/ACM 23rd International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing Workshops (CCGridW)*, 2023, ss. 96-103. doi: 10.1109/CCGridW59191.2023.00029.
- [6] A. Lamssaggad, N. Benamar, A. S. Hafid, ve M. Msahli, “A Survey on the Current Security Landscape of Intelligent Transportation Systems”, *IEEE Access*, c. 9, ss. 9180-9208, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050038.
- [7] B. Zeddini, M. Maachaoui, ve Y. Inedjaren, “Security Threats in Intelligent Transportation Systems and Their Risk Levels”, *Risks*, c. 10, sy 5, 2022, doi: 10.3390/risks10050091.
- [8] J. Petit ve S. E. Shladover, “Potential Cyberattacks on Automated Vehicles”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, c. 16, sy 2, ss. 546-556, 2015, doi: 10.1109/TITS.2014.2342271.
- [9] N. Hug, R. Vosseler, ve M. Swimmer, “Cyberattacks Against Intelligent Transportation Systems Assessing Future Threats to ITS”. Trend Micro Forward-Looking Threat Research (FTR) Team, 2017. Erişim: 14 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://documents.trendmicro.com/assets/white_papers/wp-cyberattacks-against-intelligent-transportation-systems.pdf
- [10] M. C. Porter, “Towards Safe and Equitable Intelligent Transportation Systems: Leveraging Stochastic Control Theory in Attack Detection”, 2021.
- [11] R. T. Ioannides, T. Pany, ve G. Gibbons, “Known Vulnerabilities of Global Navigation Satellite Systems, Status, and Potential Mitigation Techniques”, *Proceedings of the IEEE*, c. 104, sy 6, ss. 1174-1194, 2016, doi: 10.1109/JPROC.2016.2535898.

- [12] Ospiirent Federal System, “GNSS Interference, Jamming, & Spoofing (Vulnerability analysis and mitigation)”. Erişim: 06 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://spirentfederal.com/solutions/gps-gnss-interference-jamming-spoofing/>
- [13] L. Yang, A. Moubayed, I. Hamieh, ve A. Shami, “Tree-Based Intelligent Intrusion Detection System in Internet of Vehicles”, içinde *2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2019, ss. 1-6. doi: 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013892.
- [14] K. B. Kelarestaghi, “A Risk Based Approach to Intelligent Transportation Systems Security”, 2019. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:199004997>
- [15] C. Lévy-Bencheton ve E. Darra, “Cyber Security and Resilience of Intelligent Public Transport. Good Practices and Recommendations”, *The European Union Agency for Network and Information Security*. 2015. doi: doi:10.2824/778225.
- [16] İ. Avcı, C. Özarpa, M. Özdemir, B. F. Kınacı, ve S. A. Kara, “Akıllı ulaşım araçlarında siber güvenlik ve çok katmanlı güvenlik önlemi”, *Journal*, c. 5, sy 1, ss. 22-35, 2022, doi: DOI: 10.51513/jitsa.1034370.
- [17] İ. Avcı, “Akıllı ulaşım sistemlerinde siber saldırılar ve önlemler”, *Journal*, c. 6, sy 1, ss. 194-208, 2023, doi: <https://doi.org/10.51513/jitsa.1224909>.
- [18] F. Sakiz ve S. Sen, “A survey of attacks and detection mechanisms on intelligent transportation systems: VANETs and IoV”, *Ad Hoc Networks*, c. 61, ss. 33-50, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2017.03.006>.
- [19] R. A. Biroon, P. Pisu, ve Z. Abdollahi, “Real-time False Data Injection Attack Detection in Connected Vehicle Systems with PDE modeling”, içinde *2020 American Control Conference (ACC)*, 2020, ss. 3267-3272. doi: 10.23919/ACC45564.2020.9147977.
- [20] P. Garrad ve S. Gilroy, “Developments in Connected Vehicles and the Requirement for Increased Cybersecurity”, *ArXiv*, c. abs/2111.11612, 2021, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244488319>
- [21] ARGUS, “ETSI Intelligent Transport Systems; Security Standards Series”. 2019. Erişim: 15 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://argus-sec.com/blog/standards-and-compliance/etsi-intelligent-transport/>
- [22] ISO, “Intelligent transport systems — ITS station security services for secure session establishment and authentication between trusted devices”. 2019. Erişim: 15 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:ts:21177:ed-1:v1:en>
- [23] ITS Joint Program Office, “Cybersecurity for ITS”, *U.S. DOT*. Erişim: 15 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/PR_CyberSecurity_Factsheet.pdf
- [24] Transport Technology Forum, “ITS Cyber Sign-Posting Guidance”. Erişim: 15 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ttf.uk.net/projects/its-cyber-sign-posting-guidance/>
- [25] D. Hahn, A. Munir, ve V. Behzadan, “Security and Privacy Issues in Intelligent Transportation Systems: Classification and Challenges”, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, c. 13, sy 1, ss. 181-196, 2021, doi: 10.1109/MITS.2019.2898973.

- [26] ABD Ulaştırma Bakanlığı, "National ITS Architecture Security", Washington, 2012.
- [27] C. W. Axelrod, "Cybersecurity in the age of autonomous vehicles, intelligent traffic controls and pervasive transportation networks", içinde *2017 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 2017, ss. 1-6. doi: 10.1109/LISAT.2017.8001966.
- [28] Y. Li, Y. Tu, Q. Fan, C. Dong, ve W. Wang, "Influence of cyber-attacks on longitudinal safety of connected and automated vehicles", *Accid Anal Prev*, c. 121, ss. 148-156, 2018.
- [29] R. W. van der Heijden, S. Dietzel, T. Leinmüller, ve F. Kargl, "Survey on Misbehavior Detection in Cooperative Intelligent Transportation Systems", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, c. 21, sy 1, ss. 779-811, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2873088.
- [30] Y. Wang, D. Zhang, Y. Liu, B. Dai, ve L. H. Lee, "Enhancing transportation systems via deep learning: A survey", *Transp Res Part C Emerg Technol*, c. 99, ss. 144-163, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.12.004>.
- [31] W. Rafique, M. Khan, X. Zhao, N. Sarwar, ve W. Dou, "A Blockchain-Based Framework for Information Security in Intelligent Transportation Systems", içinde *Intelligent Technologies and Applications*, I. S. Bajwa, T. Sibaliya, ve D. N. A. Jawawi, Ed., Singapore: Springer Singapore, 2020, ss. 53-66.
- [32] R. Jabbar vd., "Blockchain Technology for Intelligent Transportation Systems: A Systematic Literature Review", *IEEE Access*, c. 10, ss. 20995-21031, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149958.
- [33] Y. M. Tashtoush vd., "Agile Approaches for Cybersecurity Systems, IoT and Intelligent Transportation", *IEEE Access*, c. 10, ss. 1360-1375, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136861.
- [34] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, "Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018)". 2019. Erişim: 21 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf
- [35] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, "On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)". 2019. Erişim: 05 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf
- [36] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, "On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)". 2019. Erişim: 21 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/11/20231101M1-1-1.pdf>
- [37] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, "Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı (2020–2023)", Şub. 2020. Erişim: 10 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/strateji-eylem-planlari/ulusal-siber-guvenlik-stratejisi-ve-eylem-plani-2020-2023.pdf>
- [38] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, "K-AUS Türkiye Mevcut Durum Analizi Raporu", Şub. 2023. Erişim: 10 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemleri-aus/k-aus-turkiye-mevcut-durum-analizi.pdf>

[39] A. Bayrak, "Araç Ağlarında Güvenlik ve Mahremiyet", 2010. Erişim: 03 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=CfCFCu-BUCOQFC9XtVaLVA&no=GsbJxNUeJdUsXV3cZ4ILYw>

[40] Ş. Okul, O. Muratoğlu, M. A. Aydın, ve H. Ş. Bilge, "Security Attacks In V2V Communication", 2019, Erişim: 03 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/332247661_SECURITY_ATTACKS_IN_V2V_COMMUNICATION

[41] O. Muratoğlu, "Akıllı Araçlar için Bulanık Mantık Temelli Siber Güvenlik Risk Modeli", 2020. Erişim: 03 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/eb58ee68-0821-441c-83f3-1deba43ef610/akilli-araclar-icin-bulanik-mantik-temelli-siber-guvenlik-risk-modeli>

[42] C. Krause *vd.*, "Cybersecurity and Intelligent Transportation Systems: Best Practice Guide", United States. Department of Transportation. Intelligent Transportation ..., 2019. Erişim: 13 Ağustos 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/42461>

The Invisible Hands of Vehicles: ADAS and EPS in Modern Automobiles

Onur Ayyıldız^{1*}, Melih Cebe²

¹TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ARGE Merkezi, Bursa, Türkiye
Bandırma, Türkiye

²TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., ARGE Merkezi, Bursa, Türkiye

*onur.ayyildiz@partner.tofas.com.tr

¹0009-0008-7354-0389¹, 0009-0004-1214-0198²

Abstract

The integration of Electric Power Steering and Advanced Driver Assistance Systems is a significant advancement in automotive technology. Electric Power Steering replaces traditional hydraulic mechanisms with electric motors, while Advanced Driver Assistance Systems introduces intelligent features to enhance safety and convenience. This harmonious collaboration demonstrates the potential to revolutionize vehicle control and elevate road safety. As vehicles become more sophisticated, the integration of Electric Power Steering and Advanced Driver Assistance Systems is a pivotal point in the automotive industry's evolution. This symbiotic relationship addresses steering precision and stability, and also aims towards semi-autonomous and fully autonomous driving. This article explores how Electric Power Steering and Advanced Driver Assistance Systems interact, synergize, and pave the way for a future where vehicles and technology work together to navigate modern roadways. This integration holds the promise of safer, smarter, and more connected vehicles. It increases driving safety with systems such as Drowsy Driver Alert and Lane Assist. With the support of the electric steering wheel, ADAS commands such as lane keeping assist and semi-automated parking are easily transmitted to the wheels. The mechanics of Electric Power Steering and Advanced Driver Assistance Systems contribute to the driving experience, and their interaction reveals how Electric Power Steering enhances Advanced Driver Assistance Systems capabilities and vice versa.

Keywords: EPS; ADAS; Driver; Sensor; Brake; Steering

1. Introduction

EPS represents a significant advance in automotive technology and replaces conventional power steering systems. It offers enhanced steering control, allowing drivers to manoeuvre their vehicle more easily in a variety of driving situations. This enhanced control contributes to a safer and more enjoyable driving experience. ADAS stands for a range of intelligent functions and systems that increase driver safety and comfort. These systems include adaptive cruise control that maintains a safe following distance, lane departure warning that warns drivers if they inadvertently leave their lane, collision avoidance that prevents accidents by automatically applying the brakes in critical situations, and emergency braking that mitigates collisions. These technologies not only make driving safer, but also more convenient and less stressful, because they assist the driver in various aspects of the driving task. By combining these two technologies, car manufacturers are creating a smoother and more integrated

driving experience. This integration allows ADAS to work more effectively by utilising the precise steering control of EPS. In addition, the advanced sensors and cameras used in ADAS can provide real-time data that improves the functionality of EPS while better adapting steering assistance to changing road conditions and maximising comfort. While this synergy between EPS and ADAS is very promising, it also brings with it complex interactions and dependencies that need to be carefully considered. The integration of these systems requires strong communication and cooperation between the different components within the vehicle architecture. This requires sophisticated software and hardware integration to ensure that all safety, efficiency and performance goals are met without compromising the reliability of the systems. Therefore, the successful integration of EPS and ADAS has the potential to make driving safer, more efficient and more environmentally friendly.

2. EPS and ADAS

The article discusses the importance of sensor relationships in ADAS functions, highlighting the integration of EPS sensors with ADAS systems for better vehicle perception and precise control actions. It also explores the development of control algorithms that optimize collaboration between EPS and ADAS, highlighting the seamless cooperation between the steering system and driver.

2.1 Electric Power Steering (EPS)

Electric steering wheels do not require a steering pump, hose, drive belt, pulley, hydraulic oil, or other elements. It also makes use of an electric motor. It is smaller and lighter than hydraulic systems. The variable power balance system helps more at low speeds and less at higher speeds. Unlike permanent hydraulic power steering systems, EPS only starts its engine when necessary. As a result, it saves more gasoline than vehicles with electric power steering (around 0.2 liters per 100 km).

2.1.1 Types of EPS

In today's cars, many forms of EPS are employed. The operating logic is fundamentally the same. The differences are due to vehicle size and engine space area. Column EPS and Rack EPS is the most popular kind of EPS that already uses.

2.1.1.1 Column EPS

CEPS (Column EPS) is a simple and low-cost motor design that is located inside the dashboard, reducing production costs due to its protection from water and extreme temperatures. However, it is known for causing numbness due to increased mechanical friction and the need to strengthen the steering shaft and universal joints to prevent twisted torque. This problem becomes more severe with heavier front-axle loads, making column EPS ideal for small compact cars and vehicles with limited steering system space.



Figure 1. The Column Electric Power Steering

2.1.1.2 Rack EPS

REPS (Rack Assist EPS) is intended for bigger vehicles to carry higher front-axle weights while optimizing packaging space. These systems can control mid-sized automobiles all the way up to full-size trucks. The steering rack housing integrates the system electronics, which are built to endure the high temperatures and environmental exposure characteristic of the engine compartment.



Figure 2. The Rack Electric Power Steering

2.1.2 Electronic Parts of EPS

Classic steering systems work by combining a lot of different mechanical components. The difference of electric steering systems from conventional and hydraulic steering systems is that they contain more electronic components. Thanks to electronic components such as sensors, it easily transfers driver commands to the front wheels of the vehicle, while interacting with ADAS and enabling autonomous driving features. In this percentage, the electronic components of the EPS play a major role in its communication with ADAS. The important electronic components of the EPS are described below.

2.1.2.1 Steering Angle Sensor (SAS)

The Steering Angle Sensor measures the position and movement of the steering wheel. The SAS is an essential part of modern vehicles equipped with Electronic Stability Control and Advanced Driver Assistance Systems. Its main function is to measure and transmit the angle and position of the steering wheel, providing the vehicle's electronic control system with information about how far and how fast the driver turns the steering wheel. This information helps the vehicle systems to make correct decisions based on the driver's steering input and the intended direction of the vehicle.

Some manufacturer doesn't use Steering Angle Sensor on their EPS. Calibration is required to adjust the steering angle of this type of EPS. Calibration is usually done by turning the steering wheel to + and - maximum directions(Normally, the steering has maximum +540 degree min -540 degree angle) and driving on a straight road. By turning the steering wheel, the EPS ECU learns the + and - maximum angle. In the step of going on a straight road, it determines the degree 0 of steering wheel by the yaw rate angle degree.

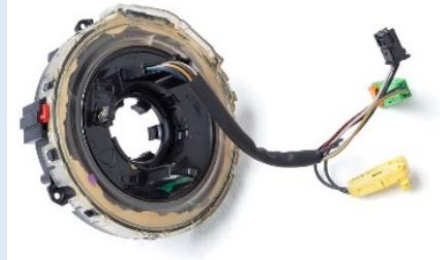


Figure 5. The Steering Angle Sensor

2.1.2.2 Torque Sensors

Torque sensors are often placed into the steering column or rack and may detect the force applied to the steering wheel by the driver. It monitors rotational force along an axis proportionate to torque applied to the steering wheel and gives real-time data on the force delivered to the wheel by the driver. The vehicle's control module can properly detect the driver's steering intentions by evaluating this data, whether it is making modest modifications or performing fast maneuvers.

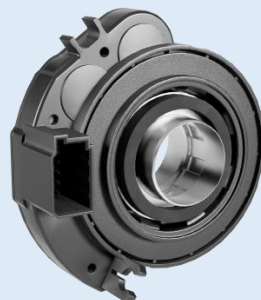


Figure 4. The Torque Sensor

2.1.2.3 The Vehicle Speed

The vehicle speed sensor measures the vehicle's speed and communicates the information to the EPS ECU. The amount of help provided by EPS is adjusted dependent on speed. The EPS engine gives greater help at lower speeds, while it delivers less at higher speeds. With this way, it is feasible to optimize steering feel and control based on the speed-dependent perception level.

2.1.2.4 Electronic Control Unit (ECU)

The control module, commonly known as the Electronic Control Unit (ECU), is the system's brain. It takes data from the steering angle sensor and torque sensor and determines the amount of help needed based on driving scenarios, vehicle speed, and other factors.



Figure 5. The Electronic Control Unit

2.2 Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) are hardware and software systems in vehicles that ensure driver and environmental safety before autonomous driving. As the automotive industry develops and interest in autonomous vehicles increases, leading manufacturers race to make their vehicles fully autonomous. These systems integrate with the central electronic control unit and sensor, camera, and radar systems, providing benefits such as making human life easier and preventing fatal accidents.

2.2.1 Society of Automotive Engineers (SAE) ADAS-Autonomous Driving Levels

Experts divide ADAS-Autonomous Driving systems into levels. According to the standards set by SAE, autonomous driving levels are described below.

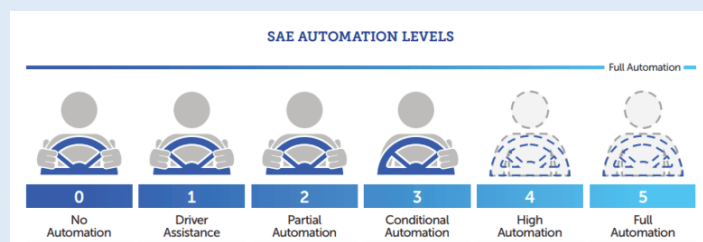


Figure 6. SAE Automation Levels

2.2.1.1 Level 0

Systems at this level do not have any support system.

2.2.1.2 Level 1

In this system, the driver and the ADAS system share control of the vehicle for basic simple functions. Features such as Cruise Control, Lane Assist, Lane Keeping System are examples. When these features are active, the driver's hands should be on the steering wheel and eyes should follow the road. The driver must be ready to regain control at any time.

2.2.1.3 Level 2

At this level, the ADAS takes more control of the vehicle. Acceleration, braking and steering manoeuvres are used more actively and effectively. The driver can use features such as Lane Centering Assist while driving. At this level, the driver should monitor the driving and be ready to take control against any mishap or unexpected situation that may arise in the automatic

system. In 2nd level autonomous driving, hands and feet should be in constant contact with the steering wheel and pedal.

2.2.1.4 Level 3

The driver can safely divert his/her attention from the road at certain speed ranges. Write or watch something while driving. Carry out activities such as eating. The vehicle will be able to handle situations such as changing lanes when emergency braking is required. However, the driver must be ready to intervene within a certain period of time specified by the manufacturer when called by the vehicle with a warning.

2.2.1.5 Level 4

Unlike Level 3, there is no need for driver attention at all. At this level the vehicle will easily manage itself on certain roads or in congested traffic conditions. Outside of these areas or conditions, the vehicle will ask the driver to regain control with an audible and visual warning, if there is no driver response, the vehicle should be able to stop safely and in a safe area.

2.2.1.6 Level 5

Human intervention is not required in these level vehicles. There is no need for any driver in the vehicles. Cargo, transport, public transport vehicles can set off and drive without a driver.

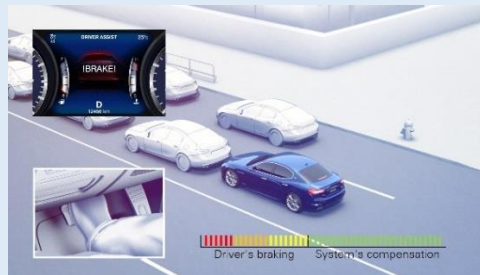


Figure 7. The Advanced Drive System

3. ADAS-EPS Interaction

ADAS has many different sub-systems such as Lane Assist, Lane Keeping Assist, Semi-Automated Parking. These features work with support from Electric Power Steering. Some vehicle manufacturers may call them by different names such as pilot assist, pilot drive assistance. Some features of ADAS are explained below by giving their commonly used names.

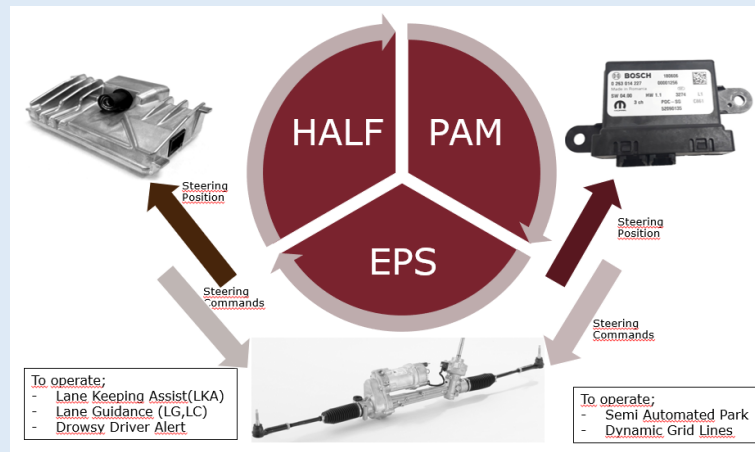


Figure 8. The Interaction between EPS and some ADAS ECUs

3.1 Lane Assist

This system alerts the driver if the car drifts out of its lane. To ensure lane maintaining, the system communicates the video inputs in front of the car with the ADAS ECU in real time. If the vehicle leaves from its lane without turning signals, the system alerts with an auditory signal as well as a visual symbol on the steering wheel vibration indication cluster. Aside from these signs, some car manufacturers warn using features such as seat vibration. There is no steering assistance with this feature to keep you in your lane. The steering system simply vibrates to alert the driver. Lanes must be visible and distinct for the system to function properly. This system is characterised by the Society of Automotive Engineers (SAE) as a Level 1 autonomous driving system.

3.2 Lane Keeping Assist

Lane centre assist is the most advanced level of lane keeping technology. This system keeps the vehicle in the centre of the lane it is travelling in by means of real-time inputs provided by the camera. There is constant steering control to keep the vehicle in its lane. It often works in conjunction with adaptive cruise control to give a vehicle a semi-autonomous capability. In these systems, driver intervention is required, although less than in Lane Assist or Lane Keeping Assist. This system is characterised by the Society of Automotive Engineers as a Level 2 autonomous driving system.

3.3 Lane Centering Assist

Lane keeping assist basically uses the functions of Lane assist, but this technology is active rather than passive. In addition to the warnings given when the vehicle leaves its lane without signalling, the steering intervenes semi-autonomously to keep the vehicle in its lane. This intervention is used to bring the vehicle back into its lane, and if necessary, there are systems that apply brakes to return the vehicle to its lane more easily.

Although the driver generally keeps control of the vehicle, driver feels the intervention of the steering system and the desire of the vehicle to return to the lane. If the turning signal is active in the vehicle, the vehicle does not interfere with the steering wheel. Lanes must be visible and distinct for the system to function properly. This system is characterised by the Society of Automotive Engineers (SAE) as a Level 2 autonomous driving system.



Figure 9. The Lane Assist System Warning

3.4 Semi Automated Parking (Park Assist)

Semi automated Parking, also known as parking assist, works by controlling steering manoeuvres by the vehicle, accelerator and brake manoeuvres and gear shifts by the driver. The system starts its operation at the driver's request. Finding a suitable parking space is carried out at a low speed (approx. 30 km/h). Meanwhile, the parking sensors on the front and rear bumpers of the vehicle search for a suitable parking space using the vehicle cameras. When a suitable parking space is found, it gives a visual and audible warning. At this stage, steering control is determined according to the commands from the ADAS ECU, no intervention is required by the driver. The driver only moves the vehicle by using the gear, gas and brake pedals.



Figure 10. The Park Assist

3.5 Drowsy Driver Alert

This feature monitors lane markings and the position of your vehicle in your lane. Many versions of drowsiness warning features monitor how often you leave your lane in a short period of time to determine if you are drowsy. More advanced versions can "learn" what your normal driving pattern and your steering behaviour is when you are not drowsy. If you drive outside the learnt driving pattern (such as making a lot of sudden manoeuvres or stops), the system will suggest that you may be drowsy and should stop driving. It indicates this visually on the instrument panel and also warns you audibly.

The Drowsy Driver Alert systems can additionally detect fatigue using visual cues. Such systems use cameras, eye-tracking sensors. the aim here is to detect fatigue through drowsiness, yawning frequency, blinking frequency, eye gaze movement, head movement and facial expressions.

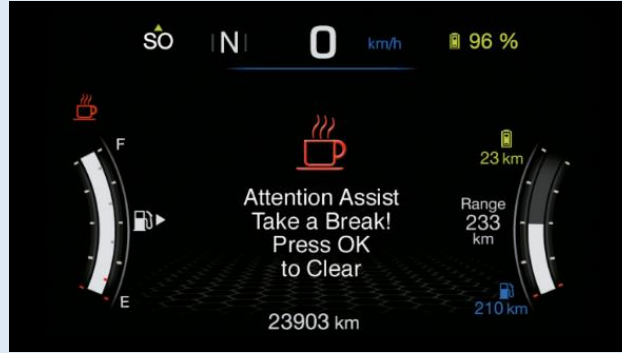


Figure 11. The Drowsy Driver Alert

3.6 Dynamic Grid Lines

The dynamic grid line is part of the rearview camera. When you shift into reverse, the vehicle projects the reversing camera image onto the multimedia display. There are lines on the camera image. These lines help you determine whether the vehicle will fit in the parking area and how far to turn the steering wheel. While determining these lines, the ECU determines the directions of the lines instantaneously according to the instant position data from the steering system.



Figure 12. The Dynamic Grid Lines

4. Conclusion

With the developing technology and innovations, automotive manufacturers have developed new features to make human life comfortable, easy and easy. In recent years, manufacturers have started to use Electric Power Steering system instead of Hydraulic Assisted Steering system in their vehicles. Vehicles have become safer with ADAS features such as lane keeping systems, driver warning systems, parking assist. Electric power steering systems for more effective implementation of ADAS features in the vehicle with sensors and electric motor and the commands coming from the ADAS ECU, the EPS quickly processes the commands in its own ECU and transmits them to the wheels. In this article, 2 commonly used types of EPS systems are examined and information about electronic components is given. Information about ADAS features is given. Autonomous driving levels are examined, the levels of ADAS features according to SAE standards are specified. Information about the interactions between EPS and ADAS features is given. With the developing technology, vehicles are expected to be fully autonomous in the near future. In these vehicles, the effectiveness,

uninterrupted and reliability of communication between the steering system and ADAS features will be very important.

References

- [1] "Semi-Autonomous Parking System for Automatic Transmission Vehicles" S. S. Ohol¹ and S. Kaware¹, October 2020
- [2] "Control Strategy of Automotive Electric Power Steering System Based on Generalized Internal Model Control" Mingchen Xue, Guangfei Xu, Jiwei Feng, Chen Meizhou and Haizhu Xu, June 2020
- [3] "Electric Power Steering: An Overview of Dynamics Equation and How It's Developed for Large Vehicle" N. Nazaruddin, F.Zainuri, Rolan Siregar, G.Heryana, M.Adhitya¹ and DA Sumarsono, August 2019
- [4] "Design and Simulation of Electric Power Steering System" Xiaolin Zhang, Jiming Ma, March 2014
- [5] "Advanced Driver Assistance Systems (ADAS): Demographics, preferred sources of information, and accuracy of ADAS knowledge" Pamela M. Greenwood, John K. Lenneman, Carryl L. Baldwin, February 2022
- [6] https://www.zf.com/products/en/cars/products_64217.html Date of Access: November 2023
- [7] https://www.zf.com/products/en/cv/products_76442.html Date of Access: November 2023
- [8] https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/blog/sae-j3016-visual-chart_5.3.21.pdf Date of Access: November 2023
- [9] <https://www.nexteer.com/electric-power-steering/> Date of Access: November 2023

The role of Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems

Caner Pense*

Bandırma Onyediy Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Transportation Engineering,

Bandırma, Türkiye

*cpense@bandirma.edu.tr

0000-0003-2187-2193

Abstract

The integration of Artificial Intelligence (AI) into Intelligent Transportation Systems (ITS) marks a transformative era in transportation. Leveraging machine learning and data analytics, AI automates real-time monitoring and decision-making, leading to increased efficiency, reduced congestion, and enhanced user experiences. AI's impact extends to traffic management, public transportation, safety measures, and logistics, promising to optimize travel, ensure safety, and promote sustainability. AI in transportation will evolve through trends like connected and cooperative transportation, shaping the future of transportation. AI plays a pivotal role in this future, and understanding these developments is crucial for informed decision-making, particularly in policy formulation and climate change mitigation.

Keywords: Intelligent Transportation Systems, Artificial Intelligence

Özet

Yapay Zekanın (AI) Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) entegrasyonu, ulaşımda dönüştürücü bir döneme işaret ediyor. Makine öğrenimi ve veri analitiğinden yararlanan yapay zeka, gerçek zamanlı izleme ve karar almayı otomatikleştirerek verimliliğin artmasına, sıklık azalmasına ve gelişmiş kullanıcı deneyimlerine yol açar. Yapay zekanın etkisi trafik yönetimine, toplu taşımaya, güvenlik önlemlerine ve lojistiğe kadar uzanıyor ve seyahati optimize etme, güvenliği sağlama ve sürdürülebilirliği teşvik etme sözü veriyor. Ulaşımdaki yapay zeka, bağlantılı ve işbirlikçi ulaşım gibi trendlerle gelişerek taşımacılığın geleceğini şekillendirecek. Yapay zeka bu gelecekte çok önemli bir rol oynuyor ve bu gelişmeleri anlamak, özellikle politika oluşturma ve iklim değişikliğinin hafifletilmesinde bilinçli karar verme açısından hayati önem taşıyor.

Anahtar kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemleri, Yapay Zekâ

1. Intelligent Transportation Systems

Intelligent Transportation Systems (ITS) are cutting-edge technologies, systems, applications, or services that aim to optimize the operation, management, and utilization of all modes of transportation to enhance the efficiency, safety, and sustainability of transportation networks [1]. ITS encompass a range of advanced technologies and applications that integrate information, communication, and transportation infrastructure.

By seamlessly integrating sensors, communication networks, and data analytics, ITS enables real-time monitoring, sensing, analysis, decision-making, control, and automation in various aspects of transportation, leading to [1]:

- Improved mobility, safety, efficiency,
- Reduced traffic congestion, delays, accidents, and pollution,
- Improved travel times and user experiences.

ITS as a result provides solutions regarding real-time traffic management, optimized route planning, enhanced vehicle performance, and facilitates the development of autonomous driving.

1.1. The ITS ecosystem

The ITS ecosystem is a complex and interconnected network of various components and stakeholders that collaborate to improve the efficiency, safety, and sustainability of transportation systems. It encompasses a wide range of elements, including technologies, infrastructure, and organizations, all working together to enhance transportation and mobility, as shown in Figure 1:

- **Infrastructure:** This includes physical components like roadways, bridges, traffic signals, and signage. Modern infrastructure is increasingly equipped with technology such as sensors, cameras, and communication networks that enable data collection and real-time monitoring.
- **Vehicles:** Within the ITS ecosystem, vehicles play a pivotal role. This encompasses not only private cars but also public transportation vehicles, commercial trucks, and even emerging technologies like autonomous vehicles. Many modern vehicles are equipped with sensors and communication systems that allow them to interact with infrastructure and other vehicles.
- **Communication Networks:** Reliable communication networks, including wireless and wired systems, are fundamental for transmitting data between vehicles, infrastructure, and central control centers. These networks enable the exchange of information crucial for real-time decision-making.
- **Sensors and Data Sources:** Data collection is a cornerstone of ITS. Various sensors, such as cameras, radar, lidar, and vehicle-to-infrastructure (V2I) and vehicle-to-vehicle (V2V) communication systems, collect data on traffic flow, vehicle speed, weather conditions, and more. This data serves as the foundation for intelligent decision-making.
- **Control Centers:** Central control centers are responsible for monitoring and managing traffic and transportation systems. They receive and analyze data from various sources and can respond to incidents, optimize traffic flow, and provide information to

travelers. These centers may use advanced software and algorithms to make real-time decisions.

- **Software and Algorithms:** Sophisticated software and algorithms are essential for processing and analyzing the vast amount of data generated within the ITS ecosystem. These tools are used for traffic management, route optimization, predictive analytics, and more.
- **Users and Travelers:** At the core of the ITS ecosystem are the people who use transportation services. Their interactions with technology, access to real-time information, and the choices they make in their daily travel influence the effectiveness of the entire system.
- **Government and Regulatory Bodies:** Government agencies, at various levels, are responsible for developing and enforcing regulations, standards, and policies related to transportation. They often provide funding and support for ITS initiatives.
- **Private Sector and Industry:** Private companies, including technology providers, automakers, and transportation service providers, contribute to the development and deployment of ITS technologies and solutions. They play a key role in innovation and service delivery.
- **Research and Development:** Academic institutions, research organizations, and think tanks contribute to the advancement of ITS through research, development, and the exploration of new technologies and concepts.

ITS Ecosystem					
Electric Vehicles	Artificial Intelligence	Communication Systems	Big Data and Cybersecurity	Smart Payment Systems	Fleet Management Systems
Smart Logistics	Traffic Management Systems	Smart Cities	Autonomous and Intelligent Vehicles	Intelligent Energy Systems	Urban Transportation Systems
Shared Mobility	Control Systems	Smart Tunnels	ITS Mobile Applications	Smart Parking Lots	Integration Systems
Driver Assistance Systems	ITS Strategy and Action Plans	ITS and Environment	ITS Economy	Connected Vehicles	ITS and Accessibility
Emergency and Disaster Management	Public Transportation	Smart Navigation	Air Transportation	Marine Transportation	Rail Transportation

Figure 1. The ITS Ecosystem

The ITS ecosystem is dynamic and constantly evolving as technology advances and transportation needs change. Collaboration among these various components is essential to achieving the overarching goals of enhancing transportation safety, reducing congestion, improving mobility, and contributing to sustainable transportation solutions. It is through this ecosystem that intelligent transportation systems continue to transform how transportation networks are utilized and interacted with.

1.2. The history and future of ITS

ITS represent a quintessential emblem of the management revolution. In a chronological context, the development of ITS follows a progression divided into the intelligent transportation 1.0 era, 2.0 era, and 3.0 era [2].

The 1.0 era is primarily characterized by electronic and informatization, driving the establishment of urban intelligent traffic management systems, vehicle navigation systems, and highway toll systems. This phase underscores the foundational role of technology in enhancing transportation efficiency and management [2].

Transitioning to the 2.0 era, the emphasis shifts towards networking and collaboration. This era facilitates significant advancements in big data integration analysis, the proliferation of mobile internet services, and the growth of intelligent networked vehicles. These developments underscore the importance of connectivity and data-driven insights in transportation systems [2].

The forthcoming 3.0 era is envisioned as service-oriented, defined by sharing and collaboration as its key attributes. It is expected to bring about a profound shift towards demand response and foster the integration of cutting-edge technologies like 6G, AI, smart city infrastructure, traffic management systems, intelligent highways, vehicle-road cooperation technologies, and intelligent railways. This era represents a quantum leap in the field of ITS, promising a future characterized by exponential growth and transformative potential [2].

In summary, the evolution of ITS across these distinct eras underscores the growing significance of technology and collaboration in enhancing transportation systems, ultimately driving towards a promising and dynamic 3.0 era marked by an implementation of AI and its profound impacts on the transportation landscape.

2. Artificial Intelligence

Artificial Intelligence (AI) is defined “the ability of a digital computer or computer-controlled robot to perform tasks commonly associated with intelligent beings” [3]. A distinction in AI definitions, based on rationality and thinking, is presented by Russell and Norvig [4]:

- In the human approach, AI systems exhibit thought processes and behaviors akin to humans.
- In the ideal approach, AI systems manifest rational thinking and behavior.

Alan Turing's perspective on AI would be categorized as aligning with "systems that act like humans" [5].

AI, in essence, involves the emulation of human intelligence in machines programmed to reason and learn in a manner analogous to humans. This encompasses the development of computer systems equipped to carry out tasks typically necessitating human cognitive abilities. AI technologies, including machine learning and deep learning, empower computers to scrutinize extensive datasets, make decisions, and enhance their performance progressively over time.

2.1 Artificial Intelligence and Transportation

Over the past decade, artificial intelligence (AI) technology has witnessed rapid evolution, driven by substantial advancements in deep learning methods and their diverse applications.

The potential of AI in transportation is virtually boundless, encompassing a wide spectrum of applications ranging from daily mobility activities to the optimization of traffic flow based on emissions. AI technologies have the capacity to revolutionize transportation.

In daily mobility activities, AI can enhance the overall transportation experience by offering solutions that range from personalized route recommendations and real-time traffic updates to predictive maintenance for vehicles. These applications contribute to improved efficiency, convenience, and safety in everyday commuting.

Furthermore, AI plays a pivotal role in addressing the ecological challenges within the transportation sector. By optimizing traffic flow based on emissions, AI can mitigate the environmental impact of transportation. It achieves this by dynamically adjusting traffic patterns, reducing congestion, and minimizing emissions, thereby contributing to a more sustainable and eco-friendly transportation system.

AI's versatility in transportation applications holds immense potential to elevate the efficiency, safety, and environmental sustainability of our transportation systems, making it a key driver in shaping the future of mobility.

Today the transportation industry is already being fundamentally transformed by AI, impacting sectors such as parking, connected and automated vehicles, traffic management, and environmental monitoring within the smart mobility sector [6].

Due to the progressive increase in the population and the complexity of their needs, the evolution of data processing and transportation to solve advanced problems has been necessary [2]. Overall, artificial intelligence has been enhancing the operational efficiency, reducing costs, and improving customer experience.

As a result, an exponential rise in the amount of data produced, transferred, and processed by AI solutions as well as their market share in transportation is forecasted in the year future [7].

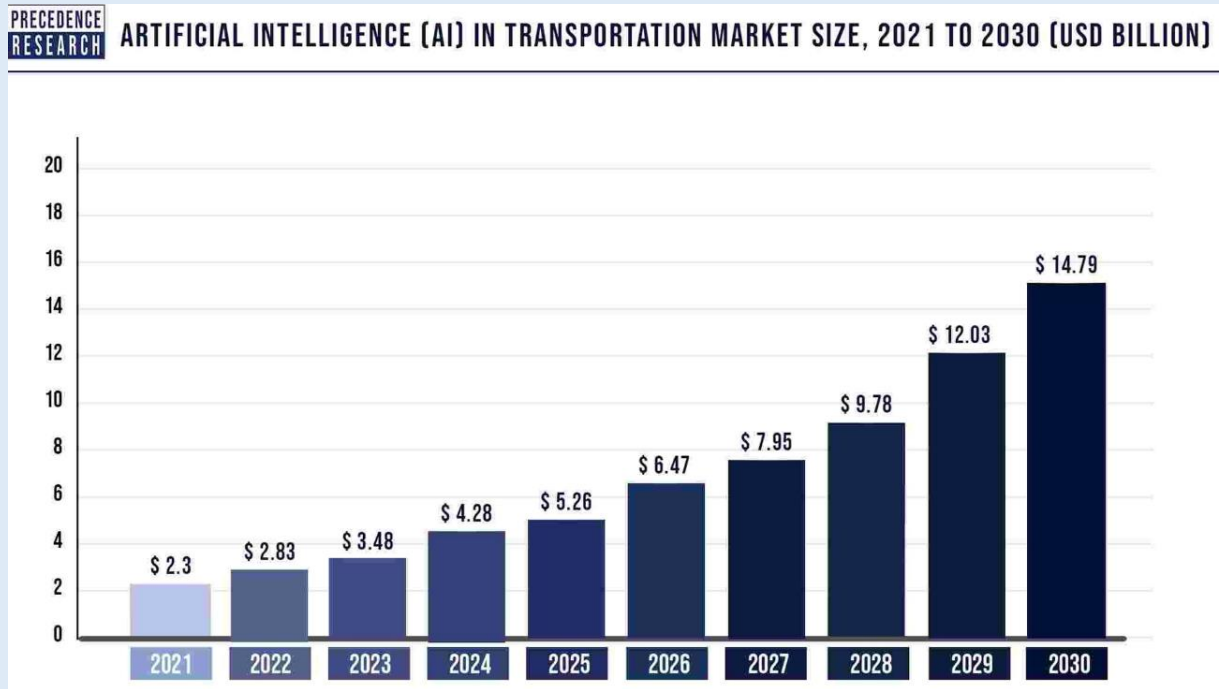


Figure 2. The forecasted market share of AI in Transportation, 2021 to 2030 [7].

As mentioned, AI offers the capability to transform copious data into meaningful information. It fosters collaboration between the private and public sectors and the entities responsible for accumulating Big Data. Today, even a single Connected and Autonomous Vehicle (CAV) can create 19 Terabytes of data in one hour [8]. Meaning, a single CAV with a higher autonomy level would be able to create 6 Petabytes of data in a year [8]. By 2025, it is estimated that the CAVs alone will have created and transmitted up to 120 exabytes of data traffic annually [9].

Such massive amounts of data brings significant challenges and concerns such as storage, transfer, processing and latency rates, accuracy, robustness, security, and privacy. Moreover, the majority of collected data is often discarded or subjected to minimal analysis, typically only at the point of collection. Nevertheless, expanding the scope of analysis facilitated by implementing AI provides a deeper comprehension of the data on road networks and other interconnected systems utilized by CAVs. Consequently, AI can contribute to a more holistic and comprehensive understanding of the transportation, especially on the dynamic interactions between the users, entities, infrastructure and environment as a whole [6].

3. The role of Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems

Today, the question of where “*intelligence*” resides within ITS remains without a definitive answer. However, AI is becoming a significant driving force behind new technological advancements beneficial for various sectors [2], [10], [11] including the transportation sector.

There is a critical and pressing need for AI technologies to be extensively and thoroughly integrated into Intelligent Transportation Systems (ITS). In other words, it is the necessity for a significant and all-encompassing adoption of AI within ITS to address the current challenges and to leverage the full potential of AI in improving transportation systems [11].

A strong correlation between the progression of AI and ITS is expected and it is predominantly attributed to the future evolution of deep learning and autonomous systems within ITS, as

shown in Figure 3. This presents an opportunity for a rapid shift in ITS in the near future, transitioning from primarily functional systems to truly intelligent systems and smart infrastructures. These Intelligent Systems and Smart Infrastructures as will be realized in the form of Smart Cities and benefit from technologies that encompass Big Data, social computing, parallel intelligence, blockchain, knowledge automation, Generative Adversarial Networks (GAN), and others, executed on a broad scale.

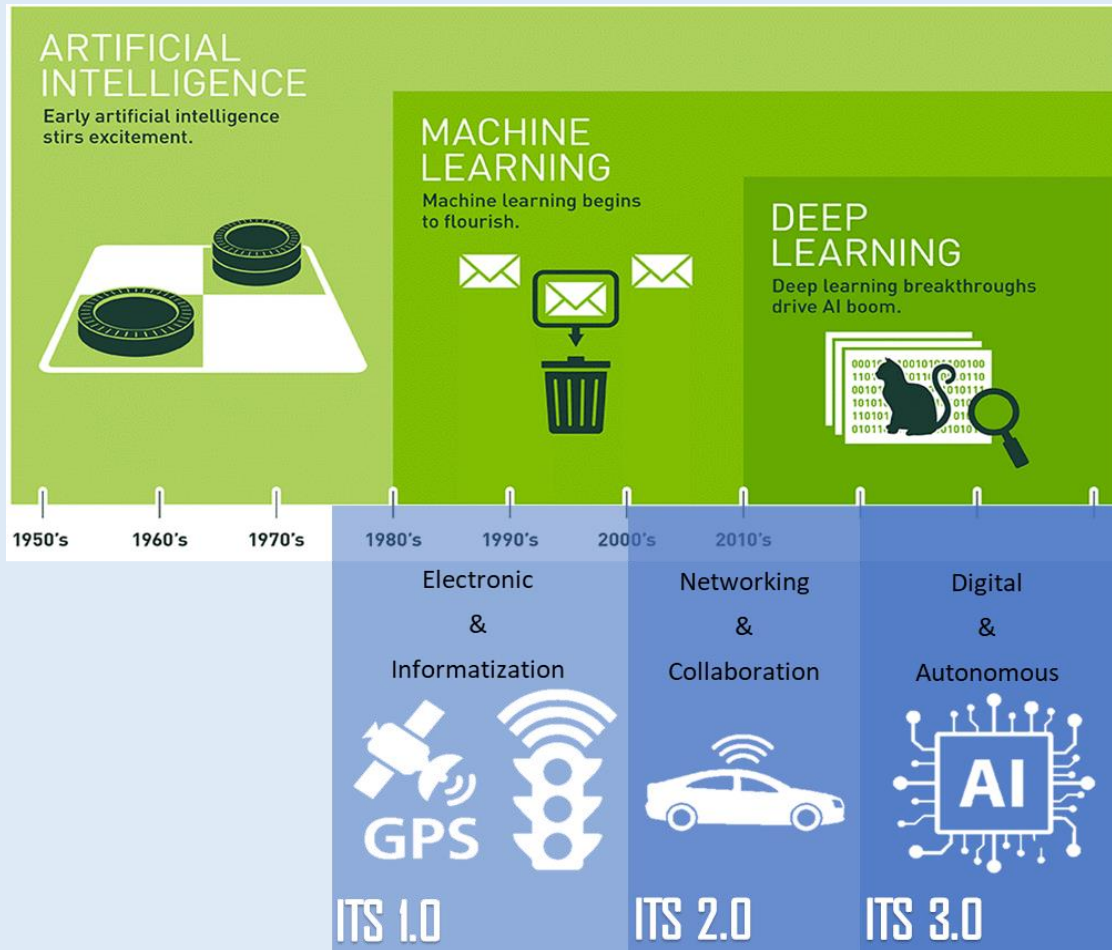


Figure 3. The evolution timeline of AI and ITS [2], [10], [11].

AI exerts a significant influence on various facets of transportation, encompassing autonomous vehicles, traffic management, and predictive maintenance. The utilization of machine learning, computer vision, natural language processing, and other AI techniques allows for the optimization of transportation systems in terms of efficiency, safety, and sustainability. AI algorithms possess the capacity to scrutinize extensive real-time data from diverse sources, including sensors, GPS systems, and social media, offering precise and current traffic forecasts, refining traffic signal control, and suggesting alternative routes to enhance overall transportation efficiency. Furthermore, AI-driven vehicle-to-infrastructure (V2I) and vehicle-to-vehicle (V2V) communication systems contribute to elevated safety, coordination, and road efficiency [12].

AI plays a pivotal role in the identification of correlations and intricate patterns within vast volumes of Big Data, leading to the generation of more precise insights and predictions. Consequently, AI offers substantial advantages in several crucial domains:

- **Efficient and Precise Big Data Processing:** AI's capacity to efficiently and accurately process Big Data [6] contributes to better-informed decision-making and streamlined operations within transportation systems.
- **Mitigation of Data Quality Issues:** AI addresses the challenges arising from suboptimal data quality, rectifying issues such as incomplete, inaccurate, corrupted, or erroneous data [13]. This rectification enhances the reliability and trustworthiness of data-driven insights.
- **Reduction in Data-Related Resources:** AI facilitates the reduction of data size, latency, bandwidth, and processing power requirements. This is achieved through decentralized computing at edge peripherals [14], which not only optimizes resource utilization but also enhances the responsiveness of transportation systems.

As a result, AI's most notable benefits extend to five key functions and elements of ITS [12], [15]:

- **Enhancing Safety, Efficiency, and Sustainability:** AI significantly contributes to the improvement of safety, efficiency, and sustainability within transportation systems, concurrently leading to cost reductions.
- **Traffic Monitoring, Management, and Control:** AI is instrumental in the real-time monitoring, management, and control of traffic, allowing for proactive responses to changing conditions and ensuring smoother traffic flow.
- **Transportation Planning and Optimization:** AI aids in the development of data-driven transportation plans and optimizations that consider various factors, from traffic patterns to environmental concerns, to achieve more efficient transportation systems.
- **Enhancing Intelligent Vehicle Systems and Infrastructure:** AI-driven technologies enhance both vehicle systems and transportation infrastructure, making them smarter, more adaptive, and interconnected. This synergy results in more responsive and coordinated transportation systems.
- **Enabling Autonomous Vehicles:** AI plays a pivotal role in making autonomous vehicles a reality. The technology allows these vehicles to perceive their surroundings, make real-time decisions, and navigate complex environments safely.

4. Conclusion

The integration of Artificial Intelligence (AI) into Intelligent Transportation Systems (ITS) marks a transformative era in transportation, promising remarkable advancements in safety, efficiency, and sustainability. Leveraging AI's capabilities, particularly through machine learning and data analytics, offers the potential to automate real-time monitoring and decision-making across various transportation domains, ultimately leading to more efficient systems, reduced congestion, and enhanced user experiences.

AI-driven automation in traffic management, public transportation, safety measures, and logistics has the potential to revolutionize commuting and travel, optimizing traffic flow, enhancing public transportation reliability, ensuring safety, and streamlining freight movement. Furthermore, AI-based systems can elevate user experiences by providing real-

time updates and personalized recommendations, ultimately promoting sustainable and efficient transportation options.

In the near future, the field of AI in transportation is envisioned for dynamic evolution, with several promising trends on the horizon. Connected and cooperative transportation, AI's integration with the Internet of Things (IoT), the rise of Mobility-as-a-Service (MaaS) platforms, and the potential of quantum computing are expected to shape the future of transportation.

The future of transportation is filled with promise, and AI will play a pivotal role in shaping its course. Staying informed about these developments is vital for anticipating the transportation landscape of tomorrow and making informed decisions, particularly in the context of transport policy formulation and its implications for climate change mitigation.

Bibliography

- [1] M. Tektaş and N. Tektaş, "Ulaşımında Milli Teknoloji Hamlesi: Akıllı Ulaşım Sistemleri," Türkiye Bilimler Akademisi, 2022, pp. 353–398. [Online]. Available: <https://www.tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/bilim-ve-dusunce/mill-teknoloji-hamlesi/ulasimda-milli-teknoloji-hamlesi-akilli-ulasim-sistemleri>
- [2] X. Deng *et al.*, "A review of 6G autonomous intelligent transportation systems: Mechanisms, applications and challenges," *J. Syst. Archit.*, vol. 142, p. 102929, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.sysarc.2023.102929.
- [3] Britannica, "Artificial intelligence (AI) | Definition, Examples, Types, Applications, Companies, & Facts." [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
- [4] "Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th US ed." [Online]. Available: <https://aima.cs.berkeley.edu/>
- [5] "What is Artificial Intelligence (AI)? | IBM." [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>
- [6] Intertraffic, "Five transport solutions we wouldn't have thought possible ten years ago." [Online]. Available: <http://www.intertraffic.com/news/five-transport-solutions-we-would-not-have-thought-possible-ten-years-ago>
- [7] Precedence Research, "Artificial Intelligence (AI) Market Size, Growth, Report By 2032." [Online]. Available: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-market>
- [8] F. Götz, "The Data Deluge: What do we do with the data generated by AVs? | Polarion." [Online]. Available: <https://blogs.sw.siemens.com/polarion/the-data-deluge-what-do-we-do-with-the-data-generated-by-avs/>
- [9] S. Lu and W. Shi, "Vehicle Computing: Vision and challenges," *J. Inf. Intell.*, vol. 1, no. 1, pp. 23–35, May 2023, doi: 10.1016/j.jiixd.2022.10.001.
- [10] M. Machin, J. A. Sanguesa, P. Garrido, and F. J. Martinez, "On the use of artificial intelligence techniques in intelligent transportation systems," in *2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, Apr. 2018, pp. 332–337. doi: 10.1109/WCNCW.2018.8369029.
- [11] M. Copeland, "The Difference Between AI, Machine Learning, and Deep Learning?," NVIDIA Blog. [Online]. Available: <https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning-ai/>
- [12] J. Bharadiya, "Artificial Intelligence in Transportation Systems A Critical Review," *Am. J. Comput. Eng.*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2023, doi: 10.47672/ajce.1487.

- [13] R. K. C. Chan, J. M.-Y. Lim, and R. Parthiban, "Missing Traffic Data Imputation for Artificial Intelligence in Intelligent Transportation Systems: Review of Methods, Limitations, and Challenges," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 34080–34093, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3264216.
- [14] P. Bartolik, "AI Data Processing at the Edge Reduces Costs, Data Latency." Available: <https://redev.technology/blog/ai-data-processing-at-the-edge-reduces-costs-data-latency/>
- [15] A. Boukerche, Y. Tao, and P. Sun, "Artificial intelligence-based vehicular traffic flow prediction methods for supporting intelligent transportation systems," *Comput. Netw.*, vol. 182, p. 107484, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107484.
- [16] "IEEE Reference Guide." IEEE Periodicals, 2018. [Online]. Available: <https://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf>

Transportation Management Systems (TMS) and An Application in a Real Industrial Company

Mehmet Tektaş¹, Caner Pense², Serhat Doğan^{3*}

¹Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

*serhat.dogan@ogr.bandirma.edu.tr

0000-0001-9564-8069, 0000-0003-2187-2193, 0000-0001-9250-6719

Abstract

Transportation Management Systems (TMSs) is a logistics software platform that allows multimodal planning and execution of physical movements of goods across the whole supply chain. A TMS provides visibility to businesses to track transportation operations, trade compliance information, and documentation. Additionally, it is a very critical business performance metric to ensure delivery is on time. TMSs also streamline the shipping process and make it easier for businesses to manage and optimize their transportation operations, whether they are by land, air, or sea, primarily delivered as a cloud-based subscription service.

Keywords: Transportation Management Systems, Oracle, Supply chain visibility

Nakliye Yönetim Sistemleri ve Bir İşletmede Örnek Uygulaması

Özet

Nakliye Yönetim Sistemleri (NYS) tüm tedarik zinciri boyunca ürünlerin fiziksel taşıma hareketlerinin çok katlı planlanmasına ve yürütülmesine imkân sağlayan bir lojistik yazılım platformudur. NYS platformları firmalara nakliye operasyonlarını, ticari olarak mevzuatlara uyumluluk durumlarını ve belgelerini takip etme konusunda görünürlük sağlar. Firmalar için kritik bir performans göstergesi olan zamanında teslimat takibi de sağlar. NYS platformları ayrıca tüm nakliye süreçlerini basite indirgemekle beraber firmaların kara, hava ve denizyolu ile olsun tüm nakliye operasyonlarını optimize ederek yönetmesini sağlayan bulut tabanlı bir çözümdür.

Anahtar kelimeler: Nakliye Yönetim Sistemleri, Oracle, Tedarik zinciri görünürlüğü

1. Transportation Management Systems

Mobility and transport have always played an important role in economic, ecological, and social development [1]. On the one hand, transport is one of the main factors of economic growth and quality of life; on the other hand, it is one of the main causes of environmental pollution [2] Transportation Management Systems (TMS) is the key-driven software and structures here to manage and execute this mobility, environmental sensitivities, and value-

added economical activities. A transportation management system (TMS) is a logistics platform that uses technology to help businesses plan, execute, and optimize the physical movement of goods, both incoming and outgoing, and make sure the shipment is compliant, proper documentation is available. This kind of system is often part of a larger supply chain management (SCM) system[3]. Transportation management systems play a central role in supply chains, affecting every part of the process—from planning and procurement to logistics and lifecycle management. The broad and deep visibility afforded by a powerful system leads to more efficient transportation planning and execution, which results in higher customer satisfaction. This leads to more sales, helping businesses grow. With such a dynamic global trade environment that we live and transact in, it is important to have a system that will allow you to successfully navigate complicated processes around trade policies and compliance[4]. As a part of supply chain organizations, manufacturers, distributors, e-commerce companies, retail businesses, and logistics service providers are the main users of TMS. There are some approaches to using this system. It might be standalone inside any system or integrated with Enterprise Resources Planning (ERP) software or other related software. This might be an existing cloud-based or on-premises structure. Approach last years and in the near future shows in the business, Cloud base structure will be placed in facilities and companies in terms of technology usage, cost perspective, and user-friendly environment. Besides this total benefits of TMS are :

- Minimize the cost for businesses, customers, and consumers
- Simplification and standardization of Supply Chain processes considering different countries, legalities, and service providers
- Automation of business operations for speed, accuracy, and documentation.
- Progressive insights for visibility and security, especially fast-moving consumer goods such as foods, chemicals, and hygienic goods.
- On a single platform, the ability to track freights in domestic and international boards.
- Foreign trade risks are minimized by the compliances, penalties, and delays in the process.

These benefits of a Cloud-based structure are shaped by TMS software using IoT fleet monitoring, digital assistants such as chatbots, adaptive intelligence and machine learning, cold chain Management, and new Technologies such as Blockchain in the near future. At this point, companies are looking for the best-fit TMS software for their work areas in terms of functionality and cost perspective. TMS suppliers on the IT side proceed to invest in broadening the breadth and depth of their TMS products as well as their footprint. The evolutionary broadening of TMS suggests value and new Technologies added enhancements such as analytics, artificial intelligence/machine learning (AI/ML), automation, and support for different modes of transport (partial, parcel, intermodal, private fleet, etc.)

Business cases are prepared to demonstrate and help to take this decision for management. One of the methods uses Gartner's magic quadrant to display which tool is fit for the company work area.

2. Magic Quadrant for TMS

Gartner is the world's leading information technology research and consultancy company. They are one of the most respected research firms in Information Technology (IT). Their

experts, using Gartner's knowledge, experience, and scientific mapping technology, have developed a new methodology, called Gartner Magic Quadrant, to position companies in technology markets. Vendors are selected based on Gartner's rules and then evaluated considering criteria in two categories: completeness of stated vision and ability to execute this vision. In the result each player is allocated to one of four quadrants, described below : [5]

1. Leaders, scored high in both categories.
2. Visionaries, scored high in completeness of vision and low in ability to execute.
3. Niche Players, scored low in both categories.
4. Challengers, scored low in completeness of vision and high in ability to execute.

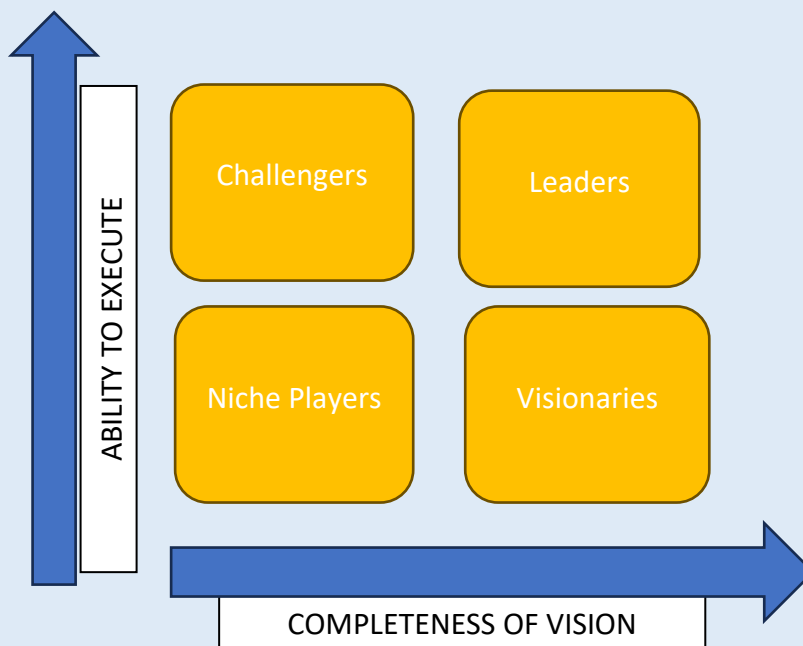


Figure 1. Gartner's Magic Quadrant Model

As a first step to understanding the technology of each provider, one might consider of functions and abilities of the program to look for usage and any possible investment opportunity of companies. A Magic Quadrant provides a graphical competitive positioning of four types of technology providers, in markets where growth is high and provider differentiation is distinct :

- Leaders execute well against their current vision and are well-positioned for tomorrow.
- Visionaries understand where the market is going or have a vision for changing market rules, but do not yet execute well.
- Niche Players focus successfully on a small segment, or are unfocused and do not out-innovate or outperform others.
- Challengers execute well today or may dominate a large segment, but do not demonstrate an understanding of market direction.

Gartner estimates the annual supply chain execution software to exceed \$8,8 billion through 2026, up from \$5,3 billion through 2021. This reflects a five-year compound annual growth rate (CAGR) of 10.9% in constant currency terms. The derived forecast for the TMS software markets estimates the annual spend on TMS software as a share of the spend on the supply chain execution (SCE) market. Gartner estimates the share of TMS software spend will be approximately 26% of that SCE, or \$2,2 billion. The forecast indicates that annual spending on TMS will grow at a five-year CAGR of 8.9% in constant currency terms, which is an estimated CAGR of %62 of the global spend by 2026. [6]

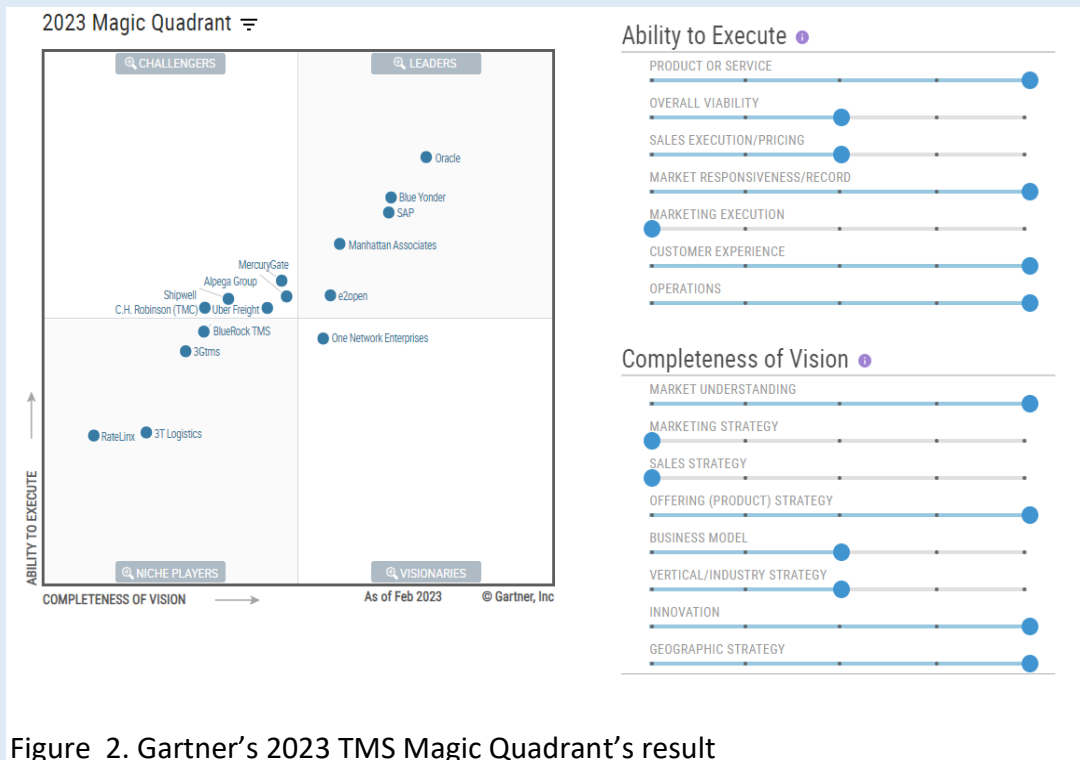


Figure 2. Gartner’s 2023 TMS Magic Quadrant’s result

According to this capable magic quadrant and business cases, one of the world wide global leading Fast Moving Consumer Goods (FMCG) companies decided to work with Oracle which is known as a global leader in enterprise software and IT solutions; it is the second largest software company in the world by revenue. According to this two-dimensional matrix company is deciding to choose OTM as its TMS software.

3. Oracle Transportation Management System

Oracle Transportation Management enables companies to manage their transportation networks on a global basis in terms of supply chain flows (outbound finished goods, inbound supplies, inter-facility/company shipments, returns), modes of transport (over the road, air, ocean, and rail) and geographic area (domestic and international). It provides simultaneous support for multiple languages, currencies, units of measure, and business functions that may vary by business unit and geographic region. As a result, companies can support the nuances

of their global operations while reaping the efficiencies provided by a single transportation management solution. [7] Oracle Transportation Management provides support for the following key transportation business functions, and can easily integrate with your finance and other supply chain management applications:

- Transportations Order Management
- Shipment Management
- Vehicle Booking and Tendering
- Visibility and Event Management
- Business Process Automation
- Freight Payment, Billing, and Claims
- Transportation Intelligence
- Forwarding and Brokerage Operations
- Reporting and Document Management
- Integration with Oracle E-Business Suite (EBS) and Oracle Cloud Supply Chain Management (SCM) applications
- Transportation Operational Planning
- Fleet Management
- Logistics Network Modelling
- Logistics Digital Assistant
- Logistics Machine Learning

3.1. Oracle Transportation Management System

Oracle offers a holistic approach to logistics management using a single-system approach. With Oracle Transportation Management and Oracle Global Trade Management, Oracle provides visibility to trade and transportation order and shipment data in one application. This unified platform enables process synergies that are often difficult to achieve with separate and independent products. It becomes easier to produce data and documents, allowing trade and transportation teams to work off a single source of truth and maintain complete visibility over shipments. A robust supply chain event management and workflow engine allows companies and their trading partners to effectively control and execute crossfunctional logistics processes.

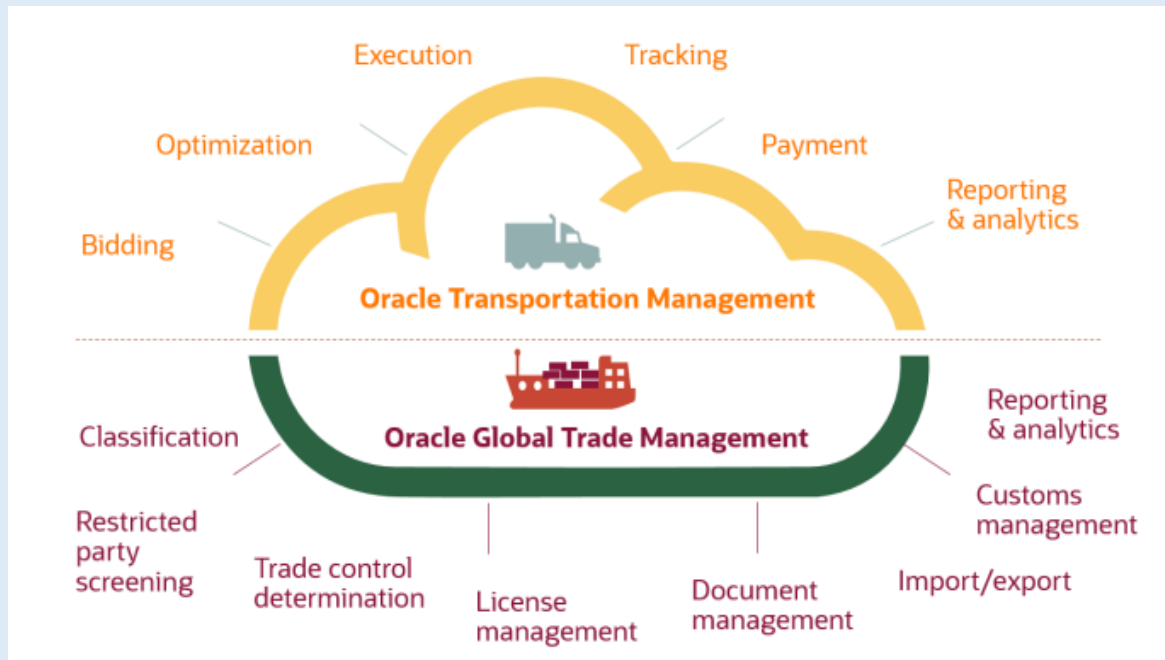


Figure 3. Oracle Transportation and Global Trade Management features and capabilities

This powerful integration of Transportation Management and Global Trade Management provides improving customer service, reduce costs, and achieve upper productivity by automating business process within the organization's global logistics network while ensuring compliance and accelerating customs processes.

As mentioned earlier, a worldwide FMCG company decided to implement Oracle as an advisor of Gartner but this Global Trade Management integrates processes into the Transport Management System and provides full visibility of trade and logistics activities. Besides these, we have a matrix to show how all vendors and systems capability over each logistics functions at main pillars. Within Oracle, in global competition over logistics, there are some companies such as 4 Kites, Haven, Maersk, Trames, Ceva, John Good Logistics, Tive, Hellman, MTM Logistics, BlueJAY and Shipwaves which are already part of Gartner Magic Quadrant. Some of these companies are already in the logistics sector segregating themselves using high-level software to operate their businesses. In this table methodology, building a matrix to visualize these companies' functionalities against to main business pillars such as connections between systems, order management, transport planning, bidding, track & trace, trade management including agreements, compliances between countries and customs, cost and revenue management, analytics reports. As in this matrix, marking green colors shows software can perform, yellow shows the ability required to run with the support of others, and gray shows no ability for his function. See below this matrix to decide the abilities and capabilities of software over each business pillar and function.

- 6- Improved Supplier Solicitation
- 7- Reduction in Freight Bill Audit Costs

Briefly, these high-cost benefits come from 3 main operational sequences; planning, execution, and productivity. On the planning side, the main focus point is improving load and route optimization. Behind the whole planning process, there is a wide range of algorithms applied to rules-based routing guides to cost and constraint-based optimization. Many kinds of moves to be ruled such as direct shipments, multi-leg, multi-mode, intermodal, inbound, outbound, interfacilities, and partial loads. Not only the optimization it is also important to consolidate fleets, modes, carriers, routes, and equipment.

Executing features and functionalities to optimize backhauls and mode selection is another cost-benefit side of sequences. Starting from freight to order Management and from order management to full visibility there are some automation points to be defined as modeling all carrier freight rates, calculating accurately estimated costs, and sell-side rating. After order management is visible in the system capturing inbound, outbound, and internal transfer orders needs to be collaborated with other platforms such as service providers and carriers services. In terms of visibility every mode is monitored status of in-transit shipments means on system load is tracked by users. Accordingly, the system can estimate expected shipment arrival and departure times to respond to users proactively against possible delays and exceptions.

At the last point value adding comes from increasing productivity by time-reducing manual efforts such as overlapped processes and higher documentation which is associated with data analysis and report creation. This is also provided by business intelligence by data management and analytics tools to report dashboards, metrics, and business key performance indicators. Related to these parameters, Gartner's magic quadrant is the best tool to choose and decide which software is adaptable to business in terms of ability to execute and completeness of vision.

5. Conclusion

In this paper, we tried to show how the logistics especially the part of transport management systems can be more intelligent using software and its accessories. Intelligence brings business efficiency and value added to the whole supply chain.

In conclusion, a full supply chain, and digitalization of the transport management system have a huge impact on managing the end-to-end visibility of the process. To succeed in a competitive marketplace, a successful supply chain requires business intelligence (BI) systems to quickly anticipate, adapt, and react to changing business conditions. BI systems provide sustainable success in a dynamic environment by empowering business users at all levels of the supply chain and enabling them to use actionable, real-time information.[8] As a part of Intelligence Transportation Systems (ITS) and Technologies, TMS software is a very important tool for developing and applying new approaches. Therefore it is not possible to separate these kinds of software and applications from ITS. In this work, we tried to emphasize how a TMS is functional and cost-effectively important for a real global company. Accordingly, we presented to display the election of an adoptive TMS for this company. In this election how the parameters are set in the magic quadrant and algorithms & logic behind this tool.

Believe, that developing TMSs will add value to ITS literature and enable both parties to new opportunities[to develop at a common point. In other words, any kind of new

approaches or ideas will reflect both ITS and TMS systems to make systems more intelligent. At that point, choosing a new technology or software investment will become more important for companies and organizations.

Bibliography

- [1] M. Jović, N. Kavran, S. Aksentijević, and E. Tijan, "The Transition of Croatian Seaports into Smart Ports," MIPRO 2019 42nd International Convention, Feb. 2019.
- [2] S. Dimić, D. Pamučar, S. Ljubojević, and B. Dorović, "Strategic transport management models case study of an oil industry," Sustainability, vol. 8, no. 9, 2016E Reference Guide". IEEE Periodicals, 2018.
- [3] <https://www.oracle.com/scm/logistics/transportation-management/what-is-transportation-management-system/>
- [4] <https://www.oracle.com/scm/logistics/transportation-management/what-is-transportation-management-system/>
- [5] Antosik, M. BUSINESS ANALYTICS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. Anna Walaszczyk Irena Jałmużna, 5.,2017
- [6] [https://www.gartner.com/document/4218199?ref=solrAll&refval=380061282&Analyst\(s\): \[Brock Johns\]\(#\) | \[Oscar Sanchez Duran\]\(#\) | \[Carly West\]\(#\)](https://www.gartner.com/document/4218199?ref=solrAll&refval=380061282&Analyst(s):%20Brock%20Johns%20|%20Oscar%20Sanchez%20Duran%20|%20Carly%20West)
- [7] <https://www.oracle.com/a/ocom/docs/applications/supply-chain-management/oracle-transportation-management-cloud-ds.pdf>
- [8] Batori, Z. MEB 2010 – 8th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking 2010.

Kent İçi Temiz Hava Alanları: Düşük Salım Bölgeleri

Kübra ÇEVİRİM^{1*}, Şeref ORUÇ²

¹Batman Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
Batman, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği,
Trabzon, Türkiye

*kubra.cevrim@batman.edu.tr

¹0000-0002-6718-8680, ²0000-0001-5788-890X

Özet

Günümüzde dünya nüfusunun büyük çoğunluğu şehirlerde yaşamaktadır. Şehirleşmenin artması ile kentsel alanlarda görülen yoğun trafik; tıkanıklık ve hava kirliliği gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Özellikle kent içindeki çevre ve hava kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri kent içi yol ağını kullanan taşıtlardır. Son yıllarda kullanımı artan elektrikli araçlar hariç bu taşıtlar fosil yakıtlarla çalışmaktadır. Fosil yakıtlar hidrokarbonlardan oluştuğu için yandığında havaya zararlı gazlar salmaktadır. Taşıtların özellikle karbondioksit (CO₂) ve partikül madde (PM) salımı yaşam kalitesini düşürdüğü gibi insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukların etkisini azaltmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan biri düşük salım bölgeleri oluşturmaktır. Düşük salım bölgesi (LEZ: Low Emission Zone) genel olarak, belirli alanlarda emisyon standartlarını karşılamayan motorlu taşıtların kullanılmaması olarak tanımlanabilir. Buna göre, standartlara uygun olmayan taşıtlar alanı hiç kullanamamakta veya oluşturacağı kirliliğe karşı ceza olarak belli bir fiyat karşılığında kullanabilmektedir. Ayrıca LEZ'lerde aktif ulaşım modları teşvik edilerek çevre ve insan sağlığının korunması amaçlanmaktadır. Dünya'nın özellikle Avrupa'nın birçok büyük şehrinde LEZ uygulamalarına rastlanabilmektedir. Bu çalışmada, yapılan literatür taraması ile bu uygulama örneklerine değinilmiştir. Özellikle idare ve trafik açısından LEZ uygulamasının faydalı yönleri araştırılmıştır. Son yıllarda Türkiye'de yapılan sürdürülebilirlik ve ulaşım temalı çalışmalardan bahsedilip bunlara LEZ uygulamalarının eklenmesiyle ortaya çıkacak olası sonuçlar tartışılmıştır. Türkiye'de büyükşehirlerde artan nüfus göz önüne alındığında bu şehirlerin merkezi ve kalabalık bölgelerini düşük salım bölgesi olarak tasarlamamanın şehir trafiği üzerinde olumlu etkileri olacağı ve taşıt kaynaklı emisyonu azaltacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Şehirleşme; Trafik; Emisyon; Düşük salım bölgesi

Urban Clean-Air Areas: Low Emission Zones

Abstract

Today, most of the world's population lives in cities. With the increase in urbanization, heavy traffic in urban areas causes problems such as congestion and air pollution. Vehicles using the urban road network are one of the most important causes of environmental and air pollution, especially in urban areas. These vehicles are powered by fossil fuels, except for electric vehicles, whose use has increased in recent years. Since fossil fuels are made of hydrocarbons,

they release harmful gases into the air when burned. Carbon dioxide (CO₂) and particle matter (PM) emissions from vehicles reduce the quality of life and adversely affect human health. Various studies are carried out to reduce the impact of these problems. One of these is to plan low emission zones. Low Emission Zone (LEZ) can generally be defined as the exclusion of motor vehicles that do not ensure emission standards in certain areas. It is also aimed to protect the environment and human health by promoting physically active forms of transport in LEZs. LEZs can be found in many major cities of the world, especially in Europe. This study discusses examples of these applications through a literature review. The positive aspects of implementing LEZs, particularly as regards policy and traffic, were examined. The environmental and sustainability studies that have been conducted in Turkey in recent years are mentioned and the possible results that will be obtained by adding LEZs to these studies are discussed. Considering the growing population in Turkey's metropolitan areas, it is expected that designating the central and congested areas of these cities as Low Emission Zones will have a positive impact on urban traffic and reduce vehicle emissions.

Keywords: Urbanization; Traffic; Emission; Low Emission Zone

1. Giriş

Hızla artan Dünya nüfusu göz önüne alındığında 2050 yılına gelindiğinde bu nüfusun üçte ikisi şehirlerde yaşıyor olacak [1]. Şehirleşmenin artması sınırlı kentsel alanlarda görülen birçok olumsuzluğu da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukları giderebilmek adına kentsel alanlarda düzenlemeler yapılmaktadır. Bunlardan bazıları akıllı şehirler, x-dakikalık şehirler, tıkanıklık fiyatlandırması, düşük salım bölgeleri vb. uygulamalardır. Bu uygulamalar temel olarak sürdürülebilirliği amaçlarken hem şehirlerin trafik ve ulaşım sorununu çözmeyi hem de kirliliği azaltmayı hedeflemektedirler.

Taşıtlarda kullanılan fosil yakıtlar yandıklarında partikül madde (PM), azot oksit (NO_x), hidrokarbonlar ve karbonmonoksit (CO) salımı yapmaktadırlar. Taşıt emisyonları arasında NO_x azot bileşiklerini temsil etmektedir ancak genel olarak azot oksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşmaktadır. NO yanma sürecinin bir ürünüyken NO₂ mevcut NO'nun bir dönüşüm reaksiyonuna girmesiyle oluşur [2]. Ayrıca karbondioksit (CO₂), nitroz oksit (N₂O) ve metan (CH₄) gibi zararlı sera gazlarının salımı da gerçekleştirirler. Bu gazlar ozon yüzey tabakasının sürekliliğine zarar verdiği gibi uzun süreli hava değişikliğine neden olarak iklim değişikliğini de tetiklemektedir [3]. Dolayısıyla taşıt emisyonları insan ve çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Kirletici araç sınıfına giren taşıtların kullanımına izin verilmeyen ya da belli bir ücret karşılığı izin verilen bölgeler düşük salım bölgeleridir. Kentsel açıdan bu bölgelerin oluşturulmasındaki amaç taşıt kaynaklı hava kirliliğini azaltarak bölgede yaşayanlar için daha sağlıklı bir ortam oluşturmaktır. LEZ uygulaması ilk olarak Avrupa'da yapılmış ardından Birleşik Krallık dahil olmak üzere Avrupa'nın birçok metropolünde uygulanmıştır. Çalışmanın diğer bölümlerinde bu uygulamalardan bahsedilmiştir. Son olarak Türkiye'nin özellikle büyükşehirlerinde LEZ oluşturulması halinde elde edilecek olası sonuçlar tartışılmıştır.

2. Dünya'da Düşük Salım Bölgesi

Avrupa'da ilk düşük salım bölgesi uygulaması 1996 yılında İsveç'te Stockholm, Göteborg ve Malmö şehirlerinde yapılmıştır. Uygulama kapsamında en eski ağır hizmet araçları yasaklanmış

ve orta yaşlı ağır hizmet araçlarının sertifikalı bir emisyon kontrol cihazı veya yeni bir motorla donatılması gerekmiştir. 2002 yılında, bu bölgelere giriş kriterleri NO_x (azot oksit) emisyonlarına ilişkin kısıtlamaları içerecek şekilde değiştirilmiştir. 2006 yılında ise İsveç Hükümeti ulusal bir LEZ programı oluşturmuştur. Bu programa göre Euro 2 ve Euro 3 emisyon standardına uyan araçlar ilk tescilden itibaren sekiz yıl boyunca, Euro 4 emisyon standardına uyan araçlar 2016'ya kadar ve Euro 5 emisyon standardına uyan araçlar ise 2020'ye kadar LEZ'de kullanılabilir. İsveç dışında ilk LEZ uygulaması ise Fransa ve İtalya arasındaki bir otoyol tüneli olan Mont-Blanc tüneline yapılmıştır. Buna göre en az Euro 3 emisyon standardını sağlamayan ağır hizmet araçlarının tüneli kullanması yasaklanmıştır [4], [5]. 2021 yılına gelindiğinde Dünya çapında uygulamada olan LEZ sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre en fazla uygulamanın İtalya'da ve Almanya'da yapıldığı görülmektedir. İtalya açık ara farkla en çok LEZ'e sahip olsa da ulusal bir şartnameye sahip değildir.

Tablo 1. Ülkelere göre LEZ sayıları [1]

Ülke	LEZ Sayısı	Ulusal LEZ Şartnamesi
Avusturya	7	Var
Belçika	3	Yok
Çekya	2	Var
Danimarka	4	Var
Finlandiya	1	Var
Fransa	5	Var
Almanya	82	Var
Yunanistan	1	Yok
İtalya	107	Yok
Hollanda	14	Var
Norveç	2	Var
Polonya	1	Yok
Portekiz	1	Yok
İspanya	3	Var
İsveç	8	Var
Birleşik Krallık	15	Var

2.1. Avrupa'da Düşük Salım Bölgesi Örnekleri

Roma'da 2001 yılında, belli saatlerde tüm araçların girmesinin yasak olduğu bir bölge belirlenmiştir. 2002'de eski dizel araçların, 2003'te ise katalitik konvertörü olmayan araçların girişinin yasaklandığı bölgeler oluşturularak LEZ'lerin temeli atılmıştır. Bu bölgelerde PM₁₀ ve NO₂ emisyon ölçümleri yapılmıştır. Buna göre PM₁₀ ve NO₂ konsantrasyonlarında sırasıyla %33 ve %58 oranında azalma görülmüştür [6], [7].

Almanya'da ilk olarak 2008 yılında, Berlin, Köln ve Hannover şehirlerinde LEZ uygulaması yapılmıştır. Bu konuda oldukça hızlı ilerleme gösteren ülkede Ocak 2014 yılına kadar toplam 48 bölge oluşturulmuştur. Morfeld vd. yaptıkları çalışmada, 17 LEZ uygulamasından önce ve sonra bölgedeki azot oksit (NO_x) konsantrasyonlarını hesaplamışlardır. Buna göre bölgedeki NO_x konsantrasyonunda %4'lük bir azalma olduğunu göstermişlerdir. Ancak LEZ oluşturmanın ve işletmenin maliyeti göz önüne alındığında bu farkın çok küçük olduğunu belirtmişlerdir [8]. LEZ'lerin içinde ve dışında NO_x ve PM konsantrasyonlarının hesaplandığı bir diğer çalışmada [9]; benzer şekilde NO_x ve PM konsantrasyonunda sırasıyla yaklaşık %8'lik ve %40'lık bir azalma tespit edilmiştir. PM konsantrasyonundaki azalmanın nedeninin LEZ'in ikincil yararlarından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bunlar; 2008 yılından itibaren araç teknolojisinde olan gelişmeler, LEZ kullanıcılarının bilinçlenerek genel olarak hava kirliliğine önem göstermesi ve idarecilerin hava kirliliği konusunda aldığı diğer tedbirlerdir.

Münih'te, Şubat 2008'de LEZ'e ek olarak bölgeye ağır hizmet araçlarının girişi de yasaklanmıştır. Berlin ve Münih'teki LEZ'ler karşılaştırıldığında, bu yasakla birlikte Münih'teki bölgede NO_2 konsantrasyonunda ciddi azalma görülmüştür. Ancak bunun LEZ uygulamasından çok ağır hizmet araçlarının yasağından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca iki şehirde de LEZ ile birlikte EK konsantrasyonunda yaklaşık %25'lik bir azalma tespit edilmiştir [10].

Milano şehir merkezinde Ocak 2012'den itibaren C Bölgesi olarak adlandırılan alan LEZ olarak tanımlanmıştır. Bu bölgenin içinde ve dışında Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH), Alkan (n-ALK), Elementel Karbon (EK) ve Organik Karbon (OK) ölçümleri yapılmıştır. Buna göre; C Bölgesi içinde PAH ve EK konsantrasyonları sırasıyla %25 ve %36 oranında azalma göstermiştir. n-ALK ve OK konsantrasyonlarında ise iki ölçümde de pek bir fark görülmemiştir. Bunun nedeni; PAH'ların ve EK'nın yakıtın yanma sürecinden dolayısıyla taşıt ve trafikten kaynaklanıyor olmasıdır [11].

Fransa'da ilk LEZ uygulaması 2015 yılında Paris'te yapılmıştır. Buna göre taşıtlarda motor tipi ve standardını gösteren bir etiket bulunması gerekmektedir. Kirletici sınıfına giren taşıtlardan ise bölgeyi kullanmaları karşılığında 68€ ceza alınmaktadır. Bu bölgede, özel araçlar için en az Euro 5, ağır taşıtlar için en az Euro 6 emisyon standardını sağlayan taşıtların kullanımına izin verilmesi halinde olası sonuçlar hesaplanmıştır. Buna göre, NO_x konsantrasyonunda %44, PM_{10} ve $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyonunda sırasıyla %25 ve %36 oranında azalma tespit edilmiştir. Halk sağlığı açısından değerlendirildiğinde, bu azalmanın astım vakalarını %3 oranında düşürebileceği vurgulanmıştır [12]. NO_2 konsantrasyon haritalarının, anketlerin ve trafik modelinin bir arada değerlendirildiği bir çalışmada, uygulama ile birlikte LEZ dışında da kritik değer ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) altında NO_2 konsantrasyonuna maruz kalan nüfusun %13 ila %43 oranında azalabileceği hesaplanmıştır [13].

Rotterdam'da ilk LEZ uygulaması 2016 yılında, 2015 yılında hazırlanan hava kalitesi yönetmeliği kapsamında, yapılmıştır. Bölgenin trafiğe etkisinin araştırıldığı çalışmada kirletici taşıtların kullanımının yaklaşık %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ancak LEZ uygulamalarında mobilite ve ona bağlı olarak sürdürülebilirliğin artması hedeflenir. Çalışma ile LEZ içerisinde kullanılan taşıt sayısının hedeflenen taşıt sayısının sadece %2 altında kaldığı; bu açıdan yeterli sürdürülebilirliğin sağlanamadığı görülmüştür [14].

Madrid'de ilk LEZ uygulaması 2018 yılında yapılmıştır. LEZ uygulamasının kısa vadede trafiği azaltmadaki etkisinin araştırıldığı çalışma sonucunda, LEZ uygulaması ile bir iş günündeki trafiğin %3.8 azaltıldığı tespit edilmiştir. Ancak uygulama bölgesi içinde trafiğin azalmasına

rağmen sınır kesimlerinde arttığı görülmüştür. Bu artış, LEZ ve dışındaki bölge arasında olan taşıt geçişinden kaynaklandığını ve araba kullanımını caydırmak için alınan önlemlerin yeterli olmadığını göstermiştir [15].

2.2 Ultra Düşük Salım Bölgesi: Londra Örneği

Birleşik Krallık'ta, ilk LEZ uygulaması Mayıs 2007'de Londra şehir merkezi ve çevresinin büyük bir kısmında yapılmıştır. 2008 yılı başlarında uygulama dizel ağır taşıtları, otobüsleri ve şehirlerarası yolcu otobüslerini kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Buna göre, ilk aşama 12 ton ağırlığın üzerindeki ağır taşıtları ve Euro 3 emisyon standardını sağlamayan kamyonları; Temmuz 2008'de geçilen ikinci aşama ise en az Euro 3 emisyon standardını sağlayan 3.5-12 ton ağırlığındaki hafif ticari araçları kapsamaktadır [16]. 2012 yılına gelindiğinde asgari koşulları sağlamayan araçların sahipleri, bölgede geçirdikleri her gün için aracın türüne göre 100-200 £ ücret ödemeleri gerekmektedir. 2013 yılında Londra şehrinin tamamı, Heathrow Havalimanı, tüm yerel yolları ve otoyolları kapsayacak şekilde, LEZ olarak belirlenmiştir. Aynı yıl yapılan çalışmada [17], bölgeyi kullanan ağır taşıt sayısının artmasına karşın gelen kısıtlamalarla en az Euro 3 emisyon standardına uyan araçların sayısı artmıştır. Ayrıca bölge içinde PM konsantrasyonu %2.46 ila %3,07 oranında düşmüştür. NO_x konsantrasyonunda ise kayda değer bir değişiklik tespit edilememiştir.

8 Nisan 2019'da dünyanın en katı LEZ kısıtlamalarını içeren Ultra Düşük Salım Bölgesi (ULEZ), Londra kent merkezinde uygulanmaya başlamıştır. Londra'daki LEZ uygulaması ağır ve hafif ticari taşıtları hedef alırken ULEZ uygulaması tüm taşıtları etkilemektedir. Ayrıca bu bölgede tıkanıklık fiyatlandırma politikası da uygulandığı için, emisyon standardını karşılayamayan araç sahiplerinin çok daha yüksek bir ücret ödemesi gerekmektedir. ULEZ, şehir merkezinde uygulansa da bölgenin dışından gelen taşıtların bölgeyi kullanması gerekeceğinden şehir genelinde taşıt kaynaklı emisyonları azaltacağı düşünülmüştür. ULEZ uygulamasının Londra genelindeki etkisine bakıldığında, NO₂ ve NO_x konsantrasyonlarında yaklaşık %3 oranında bir azalma görülmüştür. O₃ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarında ise kayda değer bir fark gözlemlenememiştir. Buna göre, ULEZ'in tek başına etkili bir uygulama olmadığı; hava kirliliğinin azaltılmasında şehir, bölge ve bölge sınırının ötesinde bir dizi politika gerektirdiği sonucuna varılmıştır [18].

Ultra Düşük Salım Bölgeleri şimdiye kadar Dünya'da sadece Londra'da oluşturulmuştur. Londra merkezdeki LEZ uygulamaları ağır ve hafif ticari taşıtları kapsamaktadır. ULEZ ise farklı olarak bölgede dolaşımda olan her taşıt tipi için uygulamaya konulmuştur. ULEZ uygulamaları kullanıcılar için ağır yaptırımlar içerse de tüm taşıt emisyonlarında iyileşmelere gidildiği için hava kirliliğini azaltma açısından daha etkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 1. Londra kent merkezi LEZ ve ULEZ tabelaları [19]

3. Türkiye’de Sürdürülebilirlik Çalışmaları

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı sürdürülebilir kalkınma modelini uygulamaya koymuştur. Amaç, ekonomik ve sosyal yapı ile çevre etkileşimini uyumlu bir şekilde kurarak nüfusun kalkınmanın getirdiği fırsatlardan eşit bir şekilde yararlanmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda yeşil büyüme, yeşil ekonomi, düşük karbonlu ekonomi, sürdürülebilir üretim ve tüketim gibi kavramlar ön plana çıkmıştır [20]. Türkiye’de 30 büyükşehir için karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarına bakıldığında; 2010 ve 2019 yıllarında toplam sera gazı emisyon miktarı %61,97, araç başına düşen emisyon miktarı %3,77 ve km²'ye düşen emisyon miktarı %61,90 oranında artmıştır [21]. 2021 TÜİK istatistiklerinde ise toplam sera gazı emisyonu 564.4 Mt CO₂ eşdeğeri olarak yayınlanmıştır. Bu değer %71,3’ünü enerji kaynaklı emisyonlar oluşturmaktadır [22]. Sürdürülebilir kalkınma açısından değerlendirildiğinde sera gazı emisyonunun bu oranlarda artması doğru olmadığı gibi bu miktarların azaltılması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan biri de akıllı şehir uygulamalarıdır.

3.1 Türkiye’de Akıllı Şehir Uygulamaları

Ülkemizde akıllı şehirler ile ilgili ilk politika Akıllı Şehir Bileşenleri arasında yer alan Akıllı Ulaşım bileşenine dair olarak Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi’nde yer almaktadır. 2019 yılında yayınlanan 2020-2023 “Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı” kapsamında; akıllı çevre, akıllı insan, akıllı sağlık, akıllı ulaşım, akıllı enerji vb. 16 adet akıllı şehir uygulamaları belirlenmiş ve bunlara göre bir eylem planı oluşturulmuştur. Bu planın en önemli bileşenlerinden biri akıllı ulaşımdır. Akıllı ulaşımın olgunluğunun artırılması amacıyla atılması hedeflenen adımlar şu şekilde sıralanmıştır [23]:

- Yeni nesil ve çevre dostu (alternatif güç sistemli) ulaşım araçlarının yaygınlaştırılması sağlanacaktır.
- Kombine ulaşım modları kullanılırken yenilikçi yaklaşımları da ele alan yeni nesil ulaşım modellerinin yaygın kullanımı sağlanacaktır.
- Ulusal, bölgesel ve yerel katmanda; organizasyon, kaynak yönetimi, planlama ve hayata geçirme, işletim bakım, izleme değerlendirme, sürdürülebilirlik, birlikte

çalışabilirlik, hizmet yönetimi ve paydaşlar arası eşgüdüm ile ulaşım yönetişimine yönelik faaliyetler gerçekleştirilecektir.

- Ulaşım sistemlerinin verimli ve çevreye duyarlı şekilde kullanımı sağlanacaktır.
- Ulaşım araçlarının çevre kirliliğine olan etkisi azaltılacak ve düşük yakıt tüketimli ve elektrikli araçlar ile ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.
- Emisyon seviyesi düşük çevre dostu (yürürlükteki tip onayı mevzuatına uygun) küçük motor hacimli, yakıt pilli veya elektrikli hibrit araçların özendirilmesi ve ekonomik ömrünü doldurmuş araçların kademeli olarak trafikten çekilecektir.
- Kentlerde yaşam kalitesini artırmak ve atmosfere emisyon salınımını azaltmak amacıyla; yaya yolları ve bisikletle ulaşım yöntemleri mahallî idarelerce teşvik edilecek, imar planlarında ve yol yapımında yeterli yaya ve bisiklet yolu ayrılacaktır. Özellikle büyük kentlerde hava kalitesinin korunması için emisyon salınımını azaltıcı ulaşım imkânları değerlendirilecektir.
- Ulaşımda emisyon kontrolleri: Egzoz emisyonlarında ve diğer araç yakıt sistemi çıktılarında uluslararası çevre standartları uygulanacaktır.

Verilen hedefler incelendiğinde ulaşım sistemlerinin çevreye duyarlı ve verimli bir hale getirilmesinin öneminin vurgulandığı görülmektedir. Emisyon standartlarını sağlayan, kirleticisi olmayan taşıtların kullanılması bu hedeflere ulaşmanın yollarından biridir. LEZ uygulamaları bu tür taşıtların kullanımına teşvik ettiği için ülkemizde hayata geçtiğinde atılacak adımları kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Ayrıca LEZ uygulamaları kapsamında yapılacak olan trafik düzenlemeleri bölgede varsa ulaşım sorunlarını da çözeceği için ulaşım sistemleri açısından süreklilik sağlanmış olacaktır.

2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı Projesi kapsamında uygulanan Akıllı Ulaşım alanındaki Akıllı Şehir Uygulamaları kapsamında;

- “Elektrikli Araçlar/Otobüsler” uygulamalarının şehirlerin %8’inde (Konya, Manisa, İzmir, Ankara vb.),
- “Hibrit Araçlar” uygulamalarının şehirlerin %4’ünde (İzmir, İstanbul vb.),
- “Bakım Onarım Yardımcısı” uygulamalarının şehirlerin %9’ünde (İstanbul, Konya, Ankara, İzmir vb.),
- “Park Yardımcısı” uygulamalarının şehirlerin %7’sinde (İstanbul, Ankara, Konya, Antalya vb.),
- “Trafik Sıkışıklığı Yardımcısı” uygulamalarının şehirlerin %5’inde (Kahramanmaraş, İstanbul, Ankara vb.),
- “Araç Paylaşımı” uygulamalarının şehirlerin %4’ünde (İstanbul vb.),
- “Bisiklet Paylaşımı” uygulamalarının şehirlerin %10’unda (Konya, İzmir, İstanbul, Kayseri, Antalya vb.),
- “Çok Modlu Toplu Taşıma” uygulamalarının şehirlerin %7’sinde (İzmir, İstanbul, Ankara vb.)

uygulamada olduğu tespit edilmiştir [23]. Bu oranlar Türkiye’nin Akıllı Ulaşım alanındaki yeniliklere açık olduğunun bir göstergesidir. Uygulamaların büyükşehirler başta olmak üzere tüm şehirlerin büyük bir yüzdesinde hayata geçmesi gerekmektedir. Kent merkezlerinde LEZ’ler oluşturulmasının diğer uygulamaları da destekleyerek Akıllı Şehir kapsamında etkili bir çözüm oluşturacağı ve bu sayede kent içi yol ağını kullanan taşıtların trafikte daha az kalması teşvik edilerek Akıllı Ulaşımın sağlanabileceği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Hızla artan nüfus ve buna bağlı olarak büyüyen şehirler birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların başında ulaşım ve ona bağlı olarak gelişen olumsuzluklar gelmektedir. Araç sahipliğinin artmasıyla oluşan trafik ve neden olduğu tıkanıklık hem çevre ve insan sağlığını hem de şehir yaşamını etkilemektedir. Dünya'daki sera gazı emisyonunun artmasındaki en büyük etken karayolu ulaşımında kullanılan taşıtlardır. Bunun önüne geçebilmek adına, yürürlüğe konulan emisyon standartlarını karşılayan taşıtların kullanımı teşvik edilmektedir. Kirletici olarak adlandırılan ve emisyon standartlarını sağlamayan taşıtların kullanımının kısıtlandığı alanlar olan düşük salım bölgelerinde; sera gazı emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Avrupa ve Birleşik Krallık'ta uygulamada olan LEZ'ler değerlendirildiğinde NO_x, PM ve karbon konsantrasyonlarında azalmalar tespit edilmiştir.

Ülkemizde özellikle büyük şehirlerde, artan nüfus nedeniyle, hava kirliliği fazladır. Bu çalışmada değinilen LEZ'ler, Türkiye'de özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi gelişmiş şehirlerin kent merkezlerinde uygulanabilir. Bunun sonucunda hava kirliliğinin azalacağı ve buna bağlı olarak insan ve çevre sağlığının olumlu etkileneceği düşünülmektedir. Ayrıca LEZ uygulamaları ek olarak mobilite ve sürdürülebilir alanlar vadettiği için şehirlerimizin ulaşım planlamalarına dair sorunlarını azaltabileceği de öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] V. Lurkin, J. Hambuckers, ve T. van Woensel, "Urban low emissions zones: A behavioral operations management perspective", *Transp. Res. PART -POLICY Pract.*, c. 144, ss. 222-240, Şub. 2021, doi: 10.1016/j.tra.2020.11.015.
- [2] A. Zare vd., "Analysis of cold-start NO₂ and NO_x emissions, and the NO₂/NO_x ratio in a diesel engine powered with different diesel-biodiesel blends", *Environ. Pollut.*, c. 290, s. 118052, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2021.118052.
- [3] S. Singh, M. J. Kulshrestha, N. Rani, K. Kumar, C. Sharma, ve D. K. Aswal, "An Overview of Vehicular Emission Standards", *MAPAN*, c. 38, sy 1, ss. 241-263, Mar. 2023, doi: 10.1007/s12647-022-00555-4.
- [4] "Assessment of Environmental Zone in Goteborg, A Report for the Traffic and Public Transport Authority of the City of Goteborg". Goteborg, İsveç, 2006.
- [5] C. Holman, R. M. Harrison, ve X. Querol, "Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities", *Atmos. Environ.*, c. 111, ss. 161-169, Haz. 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.009.
- [6] G. Cesaroni vd., "Health benefits of traffic-related air pollution reduction in different socioeconomic groups: The effect of low-emission zoning in Rome", *Occup. Environ. Med.*, c. 69, ss. 133-9, Ağu. 2011, doi: 10.1136/oem.2010.063750.
- [7] A. Pasquier ve M. André, "Decomposition of Low emission zone strategies into mechanisms and methodology for assessing their impacts on air pollution", içinde *TAP 2016, 21st International Transport and Air Pollution Conference*, 2016, ss. 21-p. Erişim: 06 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://hal.science/hal-01450251/>
- [8] P. Morfeld, D. A. Groneberg, ve M. F. Spallek, "Effectiveness of Low Emission Zones: Large Scale Analysis of Changes in Environmental NO₂, NO and NO_x Concentrations in 17

- German Cities”, *PLOS ONE*, c. 9, sy 8, s. e102999, Ağu 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0102999.
- [9] W. Jiang, M. Boltze, S. Groer, ve D. Scheuven, “Impacts of low emission zones in Germany on air pollution levels”, *Transp. Res. Procedia*, c. 25, ss. 3370-3382, Oca. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.217.
- [10] J. Gu vd., “Low emission zones reduced PM10 but not NO2 concentrations in Berlin and Munich, Germany”, *J. Environ. Manage.*, c. 302, s. 114048, Oca. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114048.
- [11] C. Rizzi vd., “Organic Compounds and Elemental Carbon in PM of Milan (Italy): effect of a Low Emission Zone”, 2015, Erişim: 06 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://boa.unimib.it/bitstream/10281/90573/1/3AAS_P124.pdf
- [12] S. Host, C. Honoré, F. Joly, A. Saunal, A. Le Tertre, ve S. Medina, “Implementation of various hypothetical low emission zone scenarios in Greater Paris: Assessment of fine-scale reduction in exposure and expected health benefits”, *Environ. Res.*, c. 185, s. 109405, Haz. 2020, doi: 10.1016/j.envres.2020.109405.
- [13] A. Poulhes ve L. Proulhac, “The Paris Region low emission zone, a benefit shared with residents outside the zone”, *Transp. Res. PART -Transp. Environ.*, c. 98, s. 102977, Eyl. 2021, doi: 10.1016/j.trd.2021.102977.
- [14] M. Attia, T. Alade, ve S. Attia, “The Influence of Passenger Car Banning Policies on Modal Shifts: Rotterdam’s Case Study”, *SUSTAINABILITY*, c. 15, sy 9, s. 7443, Nis. 2023, doi: 10.3390/su15097443.
- [15] J. Moral-Carcedo, “Dissuasive effect of low emission zones on traffic: the case of Madrid Central”, *TRANSPORTATION*, Ağu. 2022, doi: 10.1007/s11116-022-10318-4.
- [16] M. Zhai ve H. Wolff, “Air pollution and urban road transport: evidence from the world’s largest low-emission zone in London”, *Environ. Econ. POLICY Stud.*, c. 23, sy 4, ss. 721-748, Eki. 2021, doi: 10.1007/s10018-021-00307-9.
- [17] R. B. Ellison, S. P. Greaves, ve D. A. Hensher, “Five years of London’s low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality”, *Transp. Res. PART -Transp. Environ.*, c. 23, ss. 25-33, Ağu. 2013, doi: 10.1016/j.trd.2013.03.010.
- [18] L. Ma, D. J. Graham, ve M. E. J. Stettler, “Has the ultra low emission zone in London improved air quality?”, *Environ. Res. Lett.*, c. 16, sy 12, s. 124001, Ara. 2021, doi: 10.1088/1748-9326/ac30c1.
- [19] “Ulez signs.jpg (1024×682)”. Erişim: 17 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://static.standard.co.uk/2023/01/04/14/Ulez%20signs.jpg?width=1024&auto=webp&quality=50&crop=968%3A645%2Csmart>
- [20] “Temel Tanımlar – Sürdürülebilir Kalkınma Türkiye”. Erişim: 17 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://www.surdurulebiliralkinma.gov.tr/temel-tanimlar/>
- [21] A. O. Dünder, “Türkiye’deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi”, *Doğal Afetler Ve Çevre Derg.*, c. 7, sy 2, ss. 318-337, Tem. 2021, doi: 10.21324/dacd.862836.
- [22] “TÜİK Kurumsal”. Erişim: 17 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>
- [23] “2020-2023 ULUSAL AKILLI ŞEHİRLER STRATEJİSİ VE EYLEM PLANI”, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019.

İklim Krizini Önlemede Çevreci Ulaşım Planlaması: Yeşil Ulaşım Uygulamaları

Zeynep Özen^{1*}, Taylan Engin²

¹Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

*zarlsan@ogr.bandırma.edu.tr

ORCID-0000-0003-2694-554X, ORCID-0000-0001-6981-0683

Özet

Kentlerin her geçen gün büyümesiyle trafik sıkışıklığı artmakta ve kentler bu durumdan etkilenmektedir. Artan bu trafik sıkışıklığı maliyet ve zaman açısından kayıplara neden olmakla birlikte hava kirliliği ve gürültü kirliliği gibi ciddi çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Bu bağlamda iklim krizine en çok etki eden çevresel sorun havaya salınan karbon miktarıdır. Maliyet ve zaman kayıplarını en aza indirmek için kentlerde ulaşım planlaması çok iyi yapılmalı fakat hayati öneme sahip olan çevresel sorunlara da dikkat edilmelidir. Trafik sıkışıklığının meydana getirdiği sorunları bir bütün olarak en aza indirebilmek için yapılacak ulaşım planlamaları tamamıyla çevreci olmalı ve yeşil ulaşım türleri tercih edilmelidir. Ulaşım, insanların ve eşyaların bir yerden bir yere taşınmasıdır ve tarihin ilk dönemlerinden itibaren çok önemli bir faaliyet olmuştur ancak günümüzde kentlerin giderek büyümesiyle birlikte aynı zamanda bir sorun haline gelmiştir. Ulaşım planlaması, kentlerdeki ulaşım sistemlerinin belirlenen kısıtlar ve hedefler çerçevesinde amacına uygun şekilde düzenlenmesi, geliştirilmesi ve işletilmesinde en uygun çözümlerin üretilmesi işidir. Karbon salınımı az olan çevreci araçların kullanıldığı bir ulaşım şeklide yeşil ulaşım dır. Yeşil ulaşım kapsamında insanların yürüyerek ulaşabilecekleri mesafelere yaya olarak ulaşması, gidecekleri mesafe daha uzunsu bisiklet veya toplu taşıma araçlarını tercih etmeleri hedeflenmektedir. Bu çalışmada iklim krizini önlemede çevreci ulaşım planlaması kapsamında kullanılan yeşil ulaşım türlerinin araştırılması ve dünyadaki yeşil ulaşım uygulamalarının incelenmesi ve bu uygulamaların sonuçlarının iklim krizini önlemeye katkılarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ulaşım Planlaması; Yeşil Ulaşım; İklim Krizi; Çevre Kirliliği

Green Transportation Planning to Avert the Climate Crisis: Green Transportation Practices

Abstract

As cities grow day by day, traffic congestion increases and cities are affected by this situation. This increasing traffic congestion not only causes cost and time losses, but also causes serious environmental problems such as air pollution and noise pollution. In this context, the environmental problem that most affects the climate crisis is the amount of carbon emitted into the air. Transportation planning in cities should be done very well to minimize cost and time losses, but attention should also be paid to vital environmental issues. In order to minimize the problems caused by traffic congestion as a whole, transportation planning should be completely environmentally friendly and green transportation modes should be preferred. Transportation is the movement of people and goods from one place to another and has been a very important activity since the earliest periods of history, but today it has also become a problem as cities are growing. Transportation planning is the work of producing the most appropriate solutions for the organization, development, and operation of transportation systems in cities within the framework of determined constraints and targets. Green transportation is a mode of transportation that uses environmentally friendly vehicles with low carbon emissions. Within the scope of green transportation, it is aimed for people to reach the distances they can reach on foot, and to prefer cycling or public transportation if the distance they need to travel is longer. In this study, it is aimed to investigate the types of green transportation used within the scope of environmental transportation planning in preventing the climate crisis and to examine the green transportation practices in the world and to evaluate the contribution of the results of these practices to prevent the climate crisis.

Keywords: Transportation Planning; Green Transportation; Climate Crisis; Environmental Pollution

1. Giriş

Kentler teknolojinin ilerlemesi ve ekonominin gelişmesiyle günden güne hızla büyümektedir. Kentlerin büyüyen geniş alanlara yayılmasıyla yolculuk mesafeleri ve yolcu sayıları da artış göstermekte ve bu durum trafik sıkışıklığına neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığı, zaman ve maliyet kayıplarının yanında hava ve gürültü kirliliği gibi çevre kirliliklerini de meydana getirmektedir. Bu sorunlar hızla büyüyen kentlerimizde yapılacak ulaşım planlamalarının iyi yapılıp uygulanması gerçeğini ortaya koymaktadır. Ulaşım planlamasının iyi yapılıp uygulanmasının yanında çevreci bir ulaşım planlamasıyla çevre dostu ulaşım türlerinin tercih edilmesi oldukça önemlidir.

Ulaşım, kısa bir tanımla; “insanların ve eşyaların yer değiştirmesi ve bunun organizasyonudur” [1]. Ulaşım planlaması ise “insanların ve malların daha güvenli, hızlı, uygun, ekonomik ve çevreye duyarlı hareketini sağlamak için ulaşım modlarına yönelik tesis ve hizmetlerin işletilmesi, sağlanması ve yönetilmesi için gerekli olan planlama” olarak tanımlanmaktadır [2]. Yeşil ulaşım, ulaştırma faaliyetlerinde çevreye zarar verecek unsurların ortadan kaldırılarak sürdürülebilir enerji ile doğru zamanlama, doğru altyapı ve düşük maliyet ile yapılan

faaliyetlerdir. Solar sistemler, elektrikle çalışan araçlar, bisikletli ve yaya ulaşımı yeşil ulaşım örnekleri [3].

Literatürde, uluslararası birkaç metropolün yeşil ulaşım sistemi kapsamında araştırılıp analiz edildiği [4], Güney Afrika'da yeşil ulaşım stratejisinin anlatıldığı [5], kent içi ulaşımında bisiklet yollarının planlaması ile ilgili Dünya ve Türkiye örneklerinin verildiği [6], yerli üretim olup Malatya Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilen Trambüs taşıtlarının incelendiği [3] çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada iklim krizini önlemede çevreci ulaşım planlaması kapsamında kullanılan yeşil ulaşım türleri araştırılmış ve dünyadaki yeşil ulaşım uygulamalarının iklim krizini önlemeye katkılarının değerlendirilip ülkemizdeki uygulanabilirliği tartışılmıştır.

2. Materyal ve metod

2.2 Çevre sorunları

Dünya nüfusu her geçen gün artmaktadır. Birleşmiş Milletler tarafından Kasım 2022'de yapılan açıklamaya göre, dünya nüfusu 8 milyarı aşmıştır. Hızla büyüyen Dünya'da insanların ihtiyaçlarının artmasıyla üretim de artmış ve bu durum çevre sorunlarını da içeren çeşitli sorunlara yol açmıştır. Bu süreçte gelişen ve değişen dengeler doğayı olumsuz etkilemiş ve mevsimlerin değişmesi, buzulların erimesi, ormanların yok olması, denizlerin kirletilmesi, havanın kirletilmesi, gürültü kirliliği gibi sonuçlar meydana gelmiştir [3].

2.1.1 Küresel ısınma

Küresel ısınma, atmosfere salınan gazların neden olduğu düşünülen sera etkisinin sonucunda, yıl boyunca kara, deniz ve havada ölçülen ortalama sıcaklıklarda görülen artışa verilen isimdir. İklim sistemi, Güneş'in periyodik aktiviteleri ve sera gazları, insani etkiler vb. nedenlerden etkilenmektedir. Bu gazlar çoğunlukla fosil yakıt kullanımından, sanayi, ulaştırma, enerji üretiminden ve çeşitli atıkların ve tarımsal etkinliklerden kaynaklanmaktadır. Ancak burada en önemli kaynak enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz vs.) ve sanayidir [3].

2.1.2 Çevre Kirliliği

Hızlı nüfus artışı, sanayi tesisleri, plansız kentleşme, bilinçsiz tarım gibi nedenler su, toprak ve havada önemli kirlenmelere neden olmaktadır. Çevre kirliliği, ihtiyaçından fazlasını üretip yine ihtiyaçından fazlasını tüketen insanlardan dolayı oluşur. Denizlerin, akarsuların, ormanların, şehirlerin ve atmosferin kirliliği insanoğlunun yaşam kalitesini düşürmektedir. Yerküredeki doğal kaynakların tüketilmesi, fosil yakıtların azaltılmasının bir sonucu olarak kirlenmenin insan sağlığı için yakın bir tehdit haline gelmesi, hayatı bu kaynaklara bağlı olan bazı canlı türlerinin zarar görmesine ve neslinin yok olmasına neden olmaktadır [3].

2.2 Yeşil Ulaşım Sistemine Genel Bakış

Yeşil Ulaşım Hiyerarşisi ilk kez 1994 yılında Kanadalı Chris Bradshaw tarafından yürüme, bisiklet, toplu taşıma, paylaşımlı araç ve tek sürürlü araç sırasıyla önerilmiştir. Yeşil ulaşım sistemi, ulaşım türleri açısından bakıldığında yürüme, bisiklet, düzenli toplu taşıma ve demiryolu ulaşımını içermektedir. Ulaşım aracı açısından bakıldığında ise yeşil ulaşım araçları

çift enerjili araç, doğalgazlı araç, elektrikli araç, hidrojen yakıtlı araç gibi çeşitli düşük kirliliğe sahip araçları içermektedir (Şekil 1) [4].

Yeşil ulaşım aynı zamanda trolleybüs, tramvay, hafif raylı sistem ve metro gibi farklı elektrikli ulaşım araçlarını da içermektedir. Yeşil ulaşım, özellikle uygun, güvenli, verimli, düşük kirliliğe sahip, insancillaştırılmış ve çeşitlendirilmiş kentsel ulaşım sistemine atıfta bulunan yeni bir kavram ve uygulama hedefidir. Habitat çevre gelişim eğilimlerine uyum sağlar, toplu taşıma araçları tarafından yönetilir ve ekolojik çevre ve kentsel gelişim ile koordine olur. Yeşil ulaşım kavramı, “araç odaklı” dan insan odaklı” ya geçiş olan sürdürülebilir kalkınma kavramı ile önerilmektedir [4].

Yeşil ulaşım, özel motorlu araç kullanımının azaltılmasını, yürüme, bisiklet ve toplu taşıma kullanımının artırılmasını ve temiz enerji ve araçların kullanılmasını savunmaktadır. Her türlü yolcu için uygun, düşük maliyetli, kirlilik içermeyen, arazi kaynağı ve alan tasarrufu sağlayan bir ulaşım sistemidir [4].



Şekil 1. Yeşil ulaşım sistemi ve yeşil ulaşım araçları

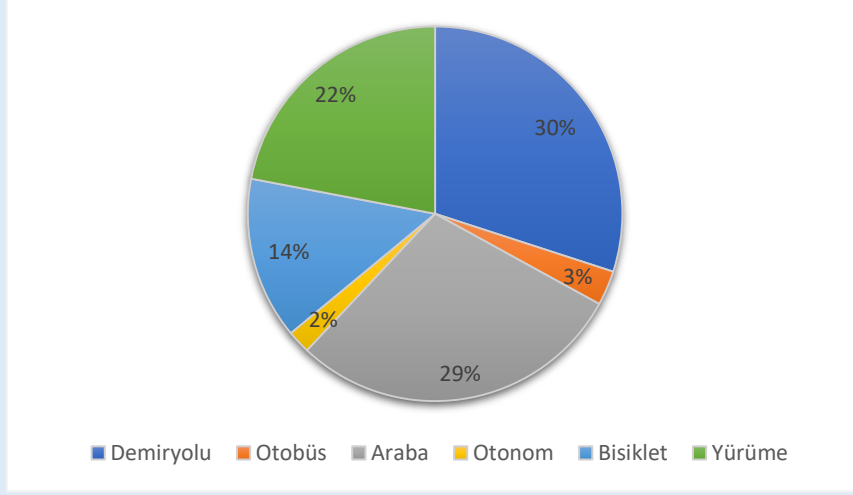
2.3 Dünya'daki Yeşil Ulaşım Uygulamaları

Yeşil ulaşım sistemi, şehirlerin trafik sıkışıklığını hafifletmek ve çevre kirliliğini önlemek için yeşil seyahati ve toplu taşıma kullanımını teşvik eden, araç yerine insanı odak noktasına alan önemli bir çözüm aracıdır [4].

Dünya nüfusunun her geçen gün artmasıyla artan araç sayısının neden olduğu trafik sıkışıklığını ve araçların neden olduğu karbon salınımı sonucunda oluşan küresel ısınmayı önlemek için birçok ülke yeşil ulaşım sistemini teşvik etmekte ve bu konuyla ilgili çalışmalar yapıp uygulamaya geçmektedir. Her geçen gün artmakta olan elektrikli araç sayısı bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Son yıllarda, küresel çaptaki elektrikli araç satışları önemli ölçüde artmış ve 2021'de bir önceki yıla göre iki katına çıkarak önemli bir dönüm noktasına ulaşmıştır [7]. Yeşil ulaşım sistemi kapsamında bisiklet kullanımı da oldukça önemlidir. 1930-1950 yılları arasında Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılan bisiklet, otomobil sektörünün gelişmesiyle geri planda kalmış gibi görünse de son yıllarda yaşanan enerji krizi ve çevre sorunları nedeniyle yeşil ulaşım araçları kapsamında tekrar popüler hale gelmiştir [6].

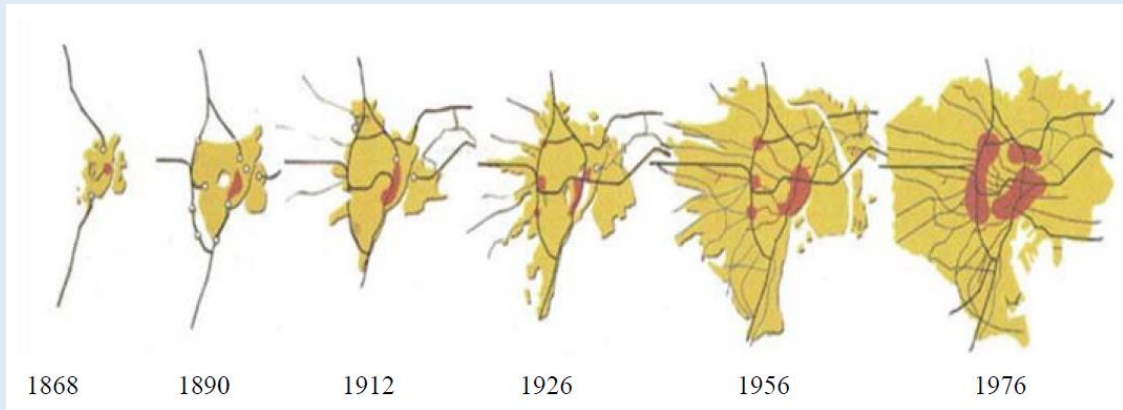
2.3.1 Tokyo

Tokyo, 23 özel bölgeyi, 26 şehri, 5 kasabayı ve 8 köyü yöneten, 2187 km²'lik bir alanı kapsayan ve 12.790.000 nüfusa sahip olan demiryolu ulaşımı ağırlıklı bir şehirdir. 2008 yılında tüm metropoliten alan içindeki ulaşım payı oranı demiryolu için %30, bisiklet için %14 ve yaya için %22'dir (Şekil 2). Tokyo, merkezi üç bölgeden ilçe bölgesine ve ardından Tokyo trafik halkasına giden demiryolu trafiği boyunca aksel olarak yoğun bir genişleme gösteren yerleşim alanlarıyla, dünyada demiryolu ağırlıklı bir metropoldür. Tokyo'ya ilişkin 5. trafik araştırması (2008), ana ulaşım aracının kentsel demiryolu ulaşımı olduğunu göstermiştir. 1978'de %23 olan pay oranı 2008'de %30'a yükselmiştir [4].



Şekil 2. 2008 Tokyo trafik modu paylaşım oranları [4]

Tokyo Büyükşehir Bölgesi'nde 1995'ten 2005'e yılına kadar geçen on yılda nüfus, metro istasyonlarının 1,5 yakınında 1,88 milyon kişi ve metro istasyonlarının 1,5 km dışında 80.000 kişi artmıştır [4].



Şekil 3. Tokyo Büyükşehir Bölgesi gelişim trendi [4]

Japonya, Karayolu Trafik Kanunu, Şehir Planlama Kanunu, Otopark Kanunu, Araç Gözetim Alanı Kanunu ve Tokyo Otopark Yönetmeliği dahil gibi otopark yönetimine ilişkin birçok yönetmelik

geliştirmiş sürekli değişiklikler ve tamamlamalar yaparak kapsamlı bir otopark kanunu sistemi oturtmuştur [4].

Geceleri yaşanan park sorununu çözmek amacıyla Tokyo, 1962 yılında Araç Gözetim Alanı kanununu faaliyete geçirmiştir. Bu kanuna göre, araç satın alan vatandaşların gece park izni de almaları ve araç sahibinin adresinde veya park adresinde değişiklik yaşanması halinde bunun ilgili kamu yetkililerine bildirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem konut sahiplerinin gece yaşayabileceği park sorunun etkili şekilde çözmektedir [4].

Tokyo'daki otoparkların merkezi iş bölgelerine yakın olanlarında park ücreti daha yüksektir ve park fiyatı piyasa kurallarına uygundur ve gerçeği yansıtmaktadır. Tokyo'da yaşayan vatandaşların motorlu araç kullanmaları halinde ödeyecekleri park ücreti aylık maaşlarının üçte birine tekabül etmektedir [4].

Tokyo'da bisiklet, motorlu araç şeridini geçebilecek hafif taşıt olarak konumlandırılırken 1970 yılında bisiklet kazalarında ölümlerle sonuçlanan kazaların keskin artışı nedeniyle bir yönetmelik yayımlanması sonucu yalnızca kaldırımda konumlandırılması kararına varılmıştır. Bu geçici yönetmelik uzun bir süre uygulanmış, bisikletlerin kaldırımları yayalarla birlikte kullanması nedeniyle bisiklet kullanıcılarına iyi bir sürüş ortamı sağlanamamıştır. 2007 yılında bu durumu iyileştirmek için Karayolu Trafik Kanunu'nda değişiklik yapılmış ve bisiklet yollarının ayrılması önerilmiştir. 2010 yılında gelindiğinde karayollarında özel bir bisiklet şeridinin belirlenmesi ve bu şeridin görsel ve fiziksel olarak izolasyonunun sağlanması gibi önlemler benimsenerek Bisiklet Alanı'na ilişkin Düzenleme Politikaları yayımlanmış ve bisiklet yollarının mevcut kilometresinin artırılması planlanmıştır [4].

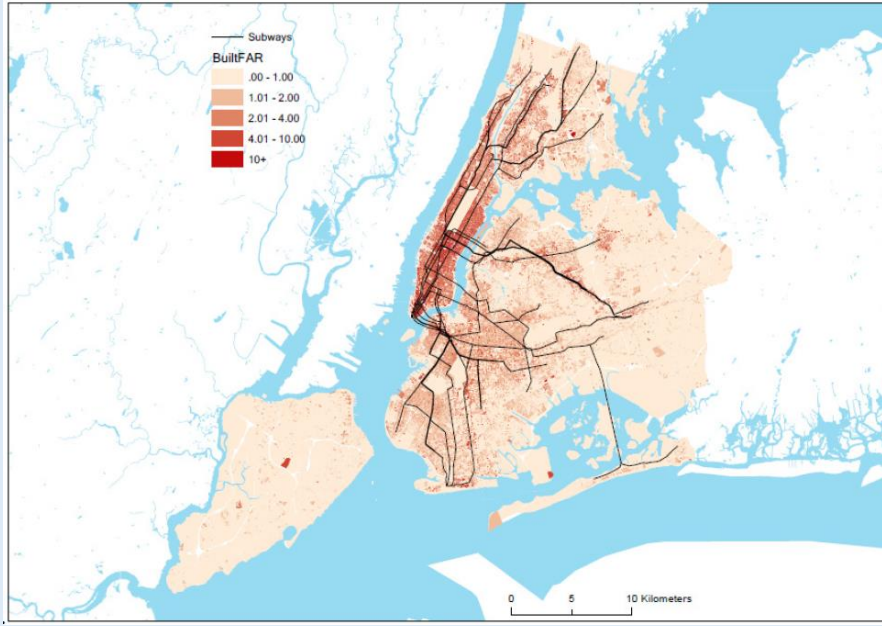
Tokyo'da bisiklet sürüş alanlarının iyileştirilmesine önem verilmesinin yanında bisikletin tanıtımı konusunda kamusal tanıtım ve iletişimi de önem verilmektedir. Bisikleti tanıtmak için dersleri, öğrenme deneyimini, biniciliği ve bisiklet güvenliği öğrenimini içeren bir kamu tanıtım faaliyeti olan "çevresel trafik kampanyası"nın her yıl düzenlenmesi hedeflenmektedir (Şekil 4) [4].



Şekil 4. Tokyo bisiklet kampanyası [4]

2.3.2 New York

Amerika Birleşik Devletleri'nin ve dünyanın en büyük şehri olan New York'ta da yeşil ulaşım için önemli çalışmalar yapılmaktadır. New York'un beş ana bölgesinden birisi olan Manhattan'da pek çok caddedeki otoyol şeritleri, bisiklet şeritleri ve kaldırımlarla değiştirilerek eski kentsel yollar canlandırılmıştır ve bu sayede insanlar arasındaki iletişim ve refah düzeyi artmıştır [4]. New York'un kentsel arazi kullanımıyla toplu taşıma kapasitesi arasında iyi bir etkileşim vardır. Arazi gelişimi metro hattı boyunca yoğunlaşmaktadır (Şekil 5) ve bu durum metro istasyonlarına yürüme mesafesindeki nüfusun artmasını ve bisiklet yol ağının daha çok kullanılmasını sağlamaktadır [4].



Şekil 5. New York metro hattı dağılımı [4]

New York'ta bulunan yollarda başlangıçta bisikletler için özel şeritler bulunmamaktadır ve bu nedenle bisiklet kullanıcıları motorlu taşıtlarla aynı şeritleri paylaşmak zorunda kalmıştır. Bu durumun seyahat kalitesini etkilemesi nedeniyle New York'ta 1970'lerden bu yana kademeli olarak motorlu taşıt şeritlerinde bisiklet şeritleri oluşturulmaya başlanmış, özellikle 2007'den sonra özel bisiklet şeritleri hızlı bir gelişme göstermiştir. New York "Daha Yeşil ve Daha İyi New York" başlıklı planlama raporu, bisikletle seyahatin daha kolay hale gelmesi için bisiklet büyüme stratejilerinin teşvik edilmesi ve 2030 yılına kadar 1800 milin genel planlanmasının tamamlanması da dahil olmak üzere bisiklet kullanımının teşvik edilmesini öngörmektedir [4].

New York'ta vatandaşları özel araç kullanmak yerine yeşil ulaşım sistemine teşvik eden bisiklet şeritlerinin artırılması ve etkin arazi kullanımıyla metro hatlarına yürüme mesafesindeki nüfusun artırılması stratejilerine ek olarak Broadway Bulvarı'nın yeniden inşa edilmesi projesi de oldukça önemlidir [4].

New York Broadway Bulvarı yeniden inşa projesi, New York City'nin şehir merkezindeki Times Meydanı'ndaki Broadway Bulvarı'nın özel bir yaya yoluna dönüştürülmesini ifade etmektedir (Şekil 6). Bu proje, özel araçlara ayrılan alanı azaltmakta, yaya faaliyetleri için daha fazla alan sağlayarak yürümeyi ve toplu taşıma kullanımını teşvik etmektedir. Bu proje, yalnızca New York merkez bölgesindeki araç akışını iyileştirmekle kalmamakla birlikte aynı zamanda çevredeki perakende sektörünün ve hizmetlerinin gelişimini de desteklemektedir [4].

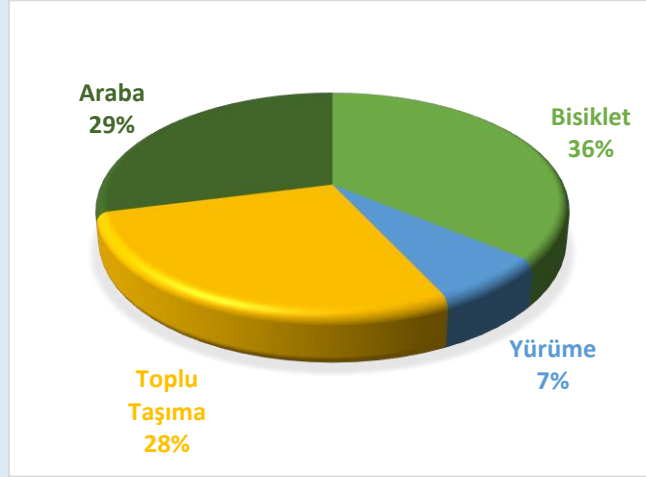


Şekil 6. Broadway Bulvarı yeniden yapılanma öncesi ve sonrası

New York'ta yeşil ulaşım sistemini teşvik eden bir başka proje ise 9. Cadde'nin yeniden yapılandırma projesidir. Farklı ulaşım araçlarını daha fazla dengelemek ve yürüme ve bisiklete binme ortamını iyileştirmek amacıyla geliştirilen bu projede 9. Cadde'nin yeniden inşası için birçok önlem alınmıştır [4]. Daha güvenli ve daha rahat yürümeyi sağlamak için trafik adalarıyla caddelerde yürümeye uygun işaretlerin sayısının artırılması, tüm trafik kullanıcılarına yol hakkı sağlanması, park korumalı bisiklet şeritlerinin artırılması için yol şeritlerinin yeniden tasarlanması gibi önlemler bu projenin kapsamını oluşturmaktadır. 9. Cadde projesinin tamamlanmasından 9 ay sonra bisiklet kullanımı %40 artmıştır. Bu proje uygulanmadan iş günlerinde bisiklet kullananların sayısı 780 iken uygulama sonrasında 1100'e çıkmıştır ve kaldırımlarda bisiklet kullananların sayısı azalmıştır [4].

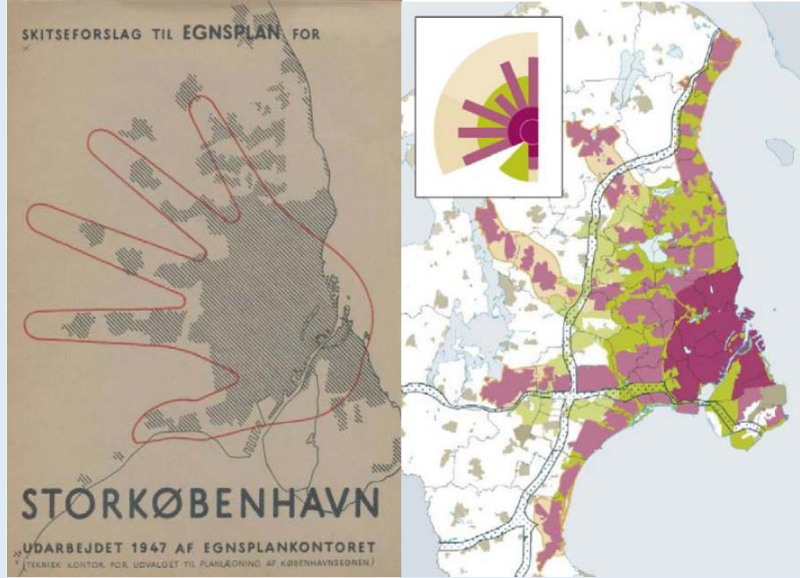
2.3.3 Kopenhag

Yeşil ulaşım türlerinin uygulandığı yerlerden birisi olan Kopenhag, 1960-70'lerde kısmi bir bisiklet ağı oluşturmuştur. Bisiklet kültürünün uzun süre devam ettiği bu şehir, sakinlerinin %40'ından fazlasının işe gitmek için bisikleti tercih ettiği bir "bisiklet şehri" haline gelmiştir. 40 yıllık yürüyüş sisteminin 1962'de tamamlanmasıyla Strøget adlı ilk yaya caddesi inşa edilmiştir. Bisiklet sayısının şehir nüfusunu aştığı Kopenhag'da vatandaşların %36'sının işe gidip gelirken bisikleti tercih etmesiyle (Şekil 7) CO₂ emisyonu yılda 90.000 ton azalmaktadır [4].



Şekil 7. 2008-2010 Kopenhag iş ve okul için ortalama seyahat payı oranları

Kopenhag, 1947 yılında kentsel genişlemenin şehir merkezinden çevreye doğru beş radyal koridor üzerinden gerçekleştirilmesini ve bu koridorlar arasındaki boşluğun gelişme kısıtlaması için şehrin yeşil takozu görevi görmesini öngören ünlü "Beş Parmak Planı" nı önermiştir (Şekil 8) [4].



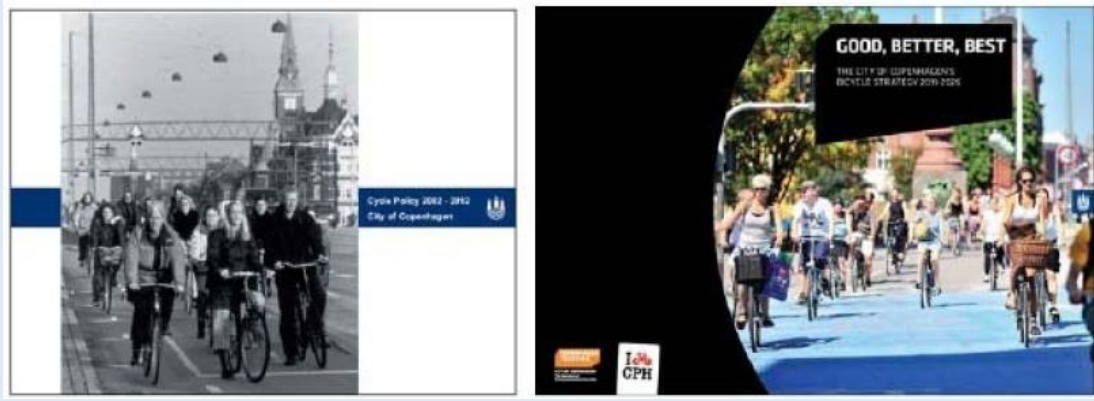
Şekil 8. Kopenhag Beş Parmak Planı [4]

Geliştirilen raylı ulaşım sistemleri bu beş koridor boyunca dağıtmakta ve hatlar boyunca arazi geliştirme projesiyle entegre edilmektedir. Kamu binalarının ve yüksek yoğunluklu yerleşim alanlarının çoğunluğunun demiryolu etrafında dağılması, seyahat mesafelerini kısaltmakta ve vatandaşların bisiklet-ray kombine seyahat modunu tercih etmelerine kolaylık sağlamaktadır [4].

Kopenhag Hükümeti, "Beş Parmak Planı" nı sıkı bir şekilde uygulamaktadır ve gelecekteki gelişim için arazilerin çoğunu yüksek yoğunluklu yerleşim alanlarında düzenlemekte ve yeni

inşa edilen ofis binalarının toplu taşıma istasyonlarına 600 metre yürüme mesafesinde olmasını şart koşmaktadır [4].

Kopenhag Hükümeti, 1974 yılında Danimarka Bisikletçiler Federasyonu tarafından önerilen ilk bisiklet ağı planını 1980 yılında onaylamıştır. 1997 yılında, Trafik ve Çevre Planlaması'nı yayımlayarak otomobil artışını kısıtlama ve bisiklet ile toplu taşımayı aktif olarak geliştirme hedefini belirlemiştir. 2000 yılında hükümet, Kopenhag'ın bisiklet gelişim hedefini detaylandıran ve aynı yıl Bisiklet Şeridi Öncelik Planı ve Bisiklet Yeşil Şerit Planı'nın özel uygulaması için bir temel oluşturan Kentsel Trafik Tüketim Planı'nı yayımlamıştır. 2001 yılında Kopenhag Trafik Güvenliği Planı'nı yayımlayarak 2001-2012 yılları arasında bisiklet kazalarında ölüm oranının %40 azaltılmasını önermiştir. 2002 yılında 2002-2012 Bisiklet Politikaları'nı yayımlamıştır. 2011-2015'te Kopenhag, ikinci kez dünyadaki en iyi bisiklet ülkesinin inşa etme hedefini belirleyerek "İyi, Daha İyi ve En İyi Kopenhag Bisiklet Geliştirme Stratejileri 2011-2015"i önermektedir (Şekil 9) [4].



Şekil 9. Kopenhag Bisiklet Politikaları (solda) ve Kopenhag Bisiklet Stratejileri (sağda) [4]

Kopenhag, bir ana yol olan Strøget'i ilk kez yaya caddesine dönüştürmeye başladığı 1968 yılından bu yana, şehir merkezindeki yayalaştırmayı istikrarlı bir şekilde teşvik etmektedir. Kopenhag Hükümeti, yaklaşık her beş yılda bir, yeni bir beş yıllık plan yayımlamakta ve sadece mevcut yürüme özelliklerini raporlamakla kalmamakta, aynı zamanda yürüme payı oranı ortalama seyahat süresi gibi temel göstergeler için hedefler önermekte ve sonraki çalışmalar için temel iyileştirme yönlerini belirlemektedir [4].

2.3.4 Güney Afrika

Güney Afrika'da 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarını ve ulaşımdan kaynaklanan diğer çevresel etkileri %5 oranında azaltmak vizyonu, taşımacılık sistemleriyle ilgili zararlı emisyonların ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olmak için sektörde yenilikçi yeşil alternatif dönüşümleri aşamalı olarak başlatmak ve ulaştırma sektörünün ülkenin sosyal ve ekonomik kalkınmasına katkısını desteklemek misyonu ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi, taşımacılığın yeşil ekonomiye katkısı, yeşil sürdürülebilir hareketliliğin teşvik edilmesi ve daha temiz ve daha verimli teknolojilerin benimsenmesi ile ilgili olarak taşımacılık sektöründe politika geliştirmek amacıyla "Yeşil Ulaşım Stratejisi 2018-2050"yi öne sürmüştür (Şekil 10) [5].



Şekil 10. Güney Afrika Yeşil Ulaşım Stratejisi [5]

Bu stratejide,

- Halkın ödeme mekanizması olarak akıllı bir bilet kullanabileceği ve herhangi bir toplu taşıma aracında (otobüs, taksi veya tren) girişte ve çıkışta kullanabileceği tek bir biletleme sisteminin geliştirilmesi,
- Gelecekteki eko mobilite gelişmeleri dikkate alınarak bir ulaşım altyapısının planlanması ve tasarlanması,
- Yenilenebilir enerji ile desteklenen elektrikli şarj istasyonlarının sayısının artırılması için özel sektörle birlikte çalışılması,
- Merkezi bölgelerdeki iş yerlerine gelen araçlardan trafik yoğunluğu ücreti alınması ve park et-devam et, bisiklet ve araç paylaşım programlarının geliştirilmesi,
- Yeşil Araçların (elektrikli ve hibrit araçlar vb.) teşvik edilerek fiyatlarının benzinli ve dizel araçların fiyatlarının altına düşürülmesi,
- Düzenleyici rejimin araçların yola elverişliliği ve egzoz emisyon kontrollerini kapsayan 3 yıllık bir testi içerecek şekilde geliştirilmesi ve test sertifikasının her 3 yılda bir araç ruhsatı yenilenmesinde ibraz edilmesi gereken şekilde test puanlarının aracın güvenlik ve emisyon performansına göre bir fiyat belirlenmesi için kullanılması,
- Yollarda araç kullanım ömrüne sınırlama getirilmesi ve motoru 600.000 km'den fazla olan araçların yollardan menedilmesi veya hurdaya çıkarılması,
- Güney Afrika'da yük araçlarının ton yükü başına emisyonlarını yansıtan izin fiyatlandırması ile "Karayolu Yük İzinleri"nin yeniden uygulamaya konulmasının üzerine çalışılması ve yük taşımacılarının aşırı yüklemelerinin önüne geçebilmek için yol kullanım ücreti belirlenmesi ile araçların şehir merkezlerine yalnızca yoğun olmayan saatlerde girebilmelerini sağlayacak düzenlemelerin geliştirilmesi konuları yer almaktadır [5].

2.3.5 Diğer ülkelerden örnekler

Trafik kazalarını en aza indirmek, artan çevre kirliliğini azaltmak amacıyla birçok ülkede bisiklet kullanımını yaygınlaştırmak için planlamalar yapılmaktadır. Dünya'da 200'ün üzerinde şehirde bisiklet, ulaşımın bir parçası olarak kullanılmaktadır. Özellikle Avrupa'da bu konuda ciddi

adımlar atılmıştır [6]. Dünya’da kişi başına bisikletle günlük ortalama kat edilen mesafeler Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Kişi başına bisikletle günlük ortalama kat edilen mesafe [8]

Norveç, kent içi ulaşım politikalarını bisiklet üzerine kurmuş ve dik yokuşlar için bisiklet asansörü uygulamasını hayata geçirmiş bir ülkedir. Hollanda’da bisiklet kullanımı bir yaşam biçimidir ve insanların %22’si işe giderken, %18’si okula giderken, %14’ü de alışveriş amacıyla ulaşım aracı olarak bisikleti tercih etmektedir. Bisikletleri, bisiklet yolları ve çok katlı bisiklet parkları bulunan Hollanda’da bütün ülkeyi kapsayan “Ulusal Bisiklet Master Planı” bulunmaktadır. Bisiklet yollarına ayrılan finansmanın yasal olarak teminat altına alınması için Ulusal Bisiklet Şebekelerinin Finansman Yasası yürürlüğe koyulmuştur. Hollanda’da yaşayan vatandaşların %84’ünün bir veya birden fazla bisikleti bulunmaktadır. 17 milyon nüfusa sahip ülkede 23 milyon bisiklet bulunmaktadır [6].

Almanya’da bahar ayları ile bisiklet kullanıcılarının sayısı artmaktadır. Bisikletli ulaşımı teşvik için ekstra bir bilet ile tramvaya ve otobüslere binilmektedir. Dünya’nın ilk bisiklet otobanına sahip ülkede güneş enerjili bisiklet yolu bulunmaktadır [6].

2.3.6. Türkiye’deki uygulamaları

Türkiye’de bisiklet, uzun yıllardır gerek yerel gerek merkezi yönetimlerce teşvik edilmesine rağmen tam olarak bir ulaşım türü olarak algılanamamıştır. İlgili yönetimler tarafından çeşitli çalışmalar yapılıyor olmasına rağmen ulaşım aracı olması için güvenli ve bütünlük bir bisiklet ağı şehirlerimizde tam olarak kurulamamıştır [6].

Bisiklet kullanımında Türkiye’de başta gelen şehirlere İstanbul, Konya, Kayseri ve İzmir örnek gösterilebilir. İstanbul’da 160 km bisiklet yolu bulunmaktadır ve 2023 yılı itibariyle kent genelinde 1053 km uzunluğunda bisiklet yolunun kullanıcıların hizmetine sunulması hedeflenmektedir. Konya’da 515 km uzunluğuna sahip bir bisiklet yolu ağı bulunmaktadır. Bu bisiklet yolu ağının büyük bir kısmı kaldırımların bir kısmının mavi renkle boyanmasıyla oluşturulmuştur bir kısmı da caddelerin sağ şeridinde yer almaktadır. İzmir’de kent içinde 60

km'lik bisiklet yolu mevcuttur ve İzmir Büyükşehir Belediyesi bu uzunluğu kısa sürede 102 km'ye çıkarmayı hedeflemektedir. "İzmir Bisiklet Master Planı" ile Avrupa Bisiklet Yolları Ağı'na dahil olan İzmir Büyükşehir Belediyesi, bu konudaki çalışmalarına devam etmektedir [6].

3. Genel değerlendirme ve tartışma

Nüfusun her geçen gün artması ve teknolojinin gelişmesiyle trafiğe çıkan sayısı artmış ve bu durum trafik sıkışıklığı ve çevre kirliliği gibi birçok sorunu da beraberinde getirmiştir. Ulaşım sektörü, iklim krizi açısından ciddi tehdit olan dünya ortamındaki karbon salınımının %23'ünü oluşturmaktadır [9]. Ulaşım sektörünün neden olduğu karbon salınımını en aza indirmek için birçok ülke çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Bu konuda yapılacak en etkili çözüm çevreci bir ulaşım planlamasında yeşil ulaşım sisteminin ve yeşil ulaşım araçlarının kullanılmasıdır.

Tokyo, New York, Kopenhag gibi dünyaca ünlü metropoller iklim krizi sorununu ciddi şekilde ele alıp iklim krizine engel olmak için etkin çalışmalar yapmaktadır. Tokyo, demiryolu ağları çok gelişmiş ve bu ağları etkin şekilde kullanabilmeyi başarabilmiş bir şehirdir. Araç satışlarında park yeri izni alınmasını da şart koşarak geleceğe yönelik bir adım atmış ve park ücretlerini vatandaşların demiryolu ve bisiklet kullanmalarını teşvik edecek şekilde düzenlemiştir. Ayrıca bisiklet kampanyası yaparak bisiklet kullanımını desteklemektedir.

New York, arazi kullanımını etkin yapabilen bir şehirdir ve nüfus metro hatlarının bulunduğu noktalarda yoğunlaşmıştır. Nüfus ve araç yoğunluğunun bulunduğu bölgelerde önemli cadde ve bulvarlarda yürüme ve bisiklet kullanımını teşvik etmek ve araç kullanımını azaltıp çevreyi korumak için çeşitli çalışmalar yapmış ve başarılı olmuştur.

Kopenhag, bisikleti bir ulaşım aracı olarak benimsemiş ve şehirdeki bisiklet kullanımının çok yüksek olması nedeniyle "bisiklet şehri" haline gelmiştir. Büyümenin şehir merkezinden itibaren belirlenen beş radyal koridordan ilerlediği şehirde, gelişmiş metro ağları bu beş koridor üzerinde dağılmıştır. Bisiklet kullanımıyla ilgili sürekli gelişen çalışmaları olan Kopenhag'da her 10 kişiden 4'ü otomobil, her 10 kişiden 9'u bisiklet sahibidir.

Güney Afrika'da geliştirilen "Yeşil Ulaşım Stratejisi", ulaşım altyapısının geliştirilmesinden toplu taşıma araçlarının teşvik edilmesi için geliştirilecek tek bilet sistemine, iklim krizini önlemek için çevreyi koruyacak temiz enerjili araçların kullanımının teşvik edilmesi ve bu araçların enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sağlanmasına kadar birçok konuyu hayata geçirmek için geliştirilmiştir.

Yukarıda dünyaca ünlü metropollerin yapmış olduğu çalışmalar kısaca özetlenmeye çalışılmıştır. Nüfusun hızla arttığı, enerji kaynaklarının hızla tükendiği ve çevrenin yeterince kirlendiği günümüz dünyasında gelecek nesillere daha temiz bir dünya bırakabilmek adına bahsi geçen çalışmaların yapılması ve uygulanması son derece yerinde olacaktır.

4.Sonuç ve değerlendirmeler

Bu çalışmada, dünya genelinde önemli bir paya sahip olan ulaşım sektörünün neden olduğu iklim krizini önlemek amacıyla ülkelerin yaptığı yeşil ulaşım çalışmaları araştırılıp incelenmiştir. Ülkemizde de bu konuda gerek merkezi gerek yerel yönetimlerde çeşitli çalışmalar yapılip uygulanmaktadır.

Bu uygulamalara, demiryolu ağlarının genişletilmesi, bisiklet yolu ağlarının oluşturulması, park-et devam et uygulamaları, yerli ve temiz enerjili araçların üretimi ve toplu taşımada

kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi gibi örnekler verilebilir. Ancak, yeşil ulaşım sisteminin anlaşılması ve yeşil ulaşım araçlarının tercih edilmesi için yeşil ulaşım sisteminin önce sorumlu olan yönetimler sonra vatandaşlar tarafından benimsenmiş olması gerekmektedir. Bu hususta yönetimlere ve konunun ilgili paydaşlarına düşen görev oldukça önemlidir.

Dünya genelinde ulaşım kaynaklı iklim krizini önlemek için yapılan çalışmaların hedeflediği karbon salınımı oranlarına bakılırsa hayata geçirilen çalışmaların karbon salınımını azaltmak için sonuç verdiği görülecektir. Ülkemizde de yapılan çalışmaların faydalı olup olumlu sonuçlar verebilmesi için yeşil ulaşım sisteminin benimsenmesi gerekmektedir. Vatandaşlar yeşil ulaşım sistemi hakkında eğitilmeli ve yeşil ulaşım araçlarını kullanmaya teşvik edilmelidir. Yeşil ulaşım sistemi, vatandaşların yürüyerek ulaşabilecekleri yerlere yürümelerini, gidecekleri yer uzaksa bisiklet veya toplu taşıma araçlarını kullanmalarını desteklemektedir.

Bu bağlamda, ülkemizde arazilerin etkin kullanılabilmesi için şehir planlamaları düzgün yapılmalı, vatandaşların toplu taşıma hatlarına erişimleri kolay hale getirilmeli ve toplu taşıma kullanımı teşvik edilmeli, şehir merkezlerine gitmek için özel araç tercih edenlere özel otopark tarifesi uygulanmalı ve şehir merkezlerinde yaya olarak veya bisikletle hareket etme yöntemleri teşvik edilmelidir. Bu uygulamaların bazıları bazı şehirlerimizde uygulansa da bu görevin tüm paydaşları birlikte hareket etmeli ve sistem bütün olarak uygulanmalıdır. Aksi takdirde parça parça uygulanacak her çözüm tek başına yetersiz kalacaktır.

Kaynaklar

- [1] M. N. Ağaoğlu and H. Başdemir, "Kent İçi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri," Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBDA), vol. 8, no. 1, pp. 27–36, 2019.
- [2] O. F. Bayraktar, "Enerji Verimli Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Planlaması ve Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Kayseri Kent İçi Ulaşımı," Erciyes Üniversitesi, 2020.
- [3] P. Gültaş and M. Yücel, "Yeşil Lojistik: Yeşil Ulaşım Hizmetleri Malatya Büyükşehir Belediyesi Örneği," Akademik Yaklaşımlar Dergisi, vol. 6, no. 2, pp. 70–83, 2015.
- [4] H. Li, "Study on Green Transportation System of International Metropolies," Proceeding Engineering, vol. 137, pp. 762–771, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.314.
- [5] B. Khutsoane, "South Africa G20 Transport Task Group Meeting Green Transport Strategy: 2018-2050."
- [6] F. Ünal Ankaya and B. Gülgün Aslan, "Kent İçi Ulaşımında Bisiklet Yollarının Planlaması; Dünya ve Türkiye Örnekleri," Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2020.
- [7] P. Barman et al., "Renewable energy integration with electric vehicle technology: A review of the existing smart charging approaches," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 183. Elsevier Ltd, Sep. 01, 2023. doi: 10.1016/j.rser.2023.113518.
- [8] "Kişi Başına Bisikletle Günlük Ortalama Kat Edilen Mesafe," <https://www.aa.com.tr/tr/spor/bisiklette-hedef-kopenhag-sistemi/939871>. [Online]. Available: <https://www.aa.com.tr/tr/spor/bisiklette-hedef-kopenhag-sistemi/939871>

[9] C. Kutlu and H. Özbay, "Elektrikli Araçlar için Akıllı Şarj Sistemleri," in 1 st International Conference on Innovative Academic Studies, Konya, Sep. 2022, pp. 982–987. [Online]. Available: <https://www.icias.net/>

Elektrikli Araçlar için Yenilenebilir Enerji Destekli Akıllı Ŗarj Sistemleri ve Mobilite

Zeynep Özen^{1*}, Leyla Arslan², Harun Özbay³

¹ Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Bandırma, Türkiye

² Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

³ Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Faköltesi, Elektrik Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

*zarslan@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID-0000-0003-2694-554X, ORCID-0000-0001-6326-6269, ORCID-0000-0003-1068-244X

Özet

Dünya nüfusunun artmasıyla trafiğe çıkan araç sayısı da her geçen gün artmaktadır. Araç sayısındaki bu artış enerji ihtiyacını ve dolayısıyla çevreye verilen zararını artırmaktadır. Günümüzde sanayiden ulaşımaya birçok sektörde enerji ihtiyacı fosil yakıtlarla sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar havadaki karbon miktarını artırarak küresel ısınmaya neden olmaktadır ve havaya salınan karbon miktarının önemli bir kısmını ulaşım sektörü oluşturmaktadır. Fosil yakıtların çevresel etkileri, ulaşım sektöründe Elektrikli Araçlara (EA) olan yönelimi artırmıştır. Elektrikli araçlar son derece verimli olsalar da zararlı çevresel etkileri azaltmaları bu araçlara güç sağlamak için gereken elektrik kaynağına bağlıdır. Dolayısıyla Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) kullanımının yaygınlaşması önem arz etmektedir. Elektrikli araçlara olan yönelimin artmasıyla bu araçlar için gereken enerji ihtiyacını karşılayacak Ŗarj altyapısı önemli bir konu haline gelmiştir. Elektrikli araçların kontrolsüz Ŗarj edilmesi elektrik Ŗebekesi üzerindeki yükü artıracığından alternatif Ŗarj yöntemlerinin kullanımı gerekmektedir. Dünya üzerinde birçok ölke bu talebi karşılamak için çalışmalar yapmaktadır. Türkiye'deki elektrikli araç sayısı dikkate alındığında ölkemiz elektrikli araç sektörünün gelişimine henüz yeni başlamıştır. Fakat yapılan çalışmalar doğrutusunda elektrikli araç sayısının giderek artması beklenmektedir. Bu durum elektrikli araç bataryalarının nasıl Ŗarj edileceği konusunu gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada elektrikli araçların elektrik Ŗebekesine entegrasyonuna, elektrikli araç Ŗarj yöntemlerine, akıllı Ŗarj çeşitlerine, yenilenebilir enerji destekli akıllı Ŗarj yaklaşımlarına ve akıllı Ŗarjın e-mobilite ile ilişkisine değinilmiştir. Yenilenebilir enerji destekli akıllı Ŗarjın ölkemize getireceği faydalar değlendirilmiş ve uygulanabilmesi için öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Akıllı Ulaşım; Elektrikli Araçlar; Yenilenebilir Enerji Kaynakları; Akıllı Ŗarj; E-Mobilite

Renewable Energy Supported Smart Charging Systems and Mobility for Electric Vehicles

Abstract

The number of automobiles on the road is rising steadily along with the world population. As the number of automobiles rises, so does the energy demand and the resulting harm to the environment. Fossil fuels are currently used to provide the energy needs of a variety of

industries, including transportation. Fossil fuels contribute to global warming by raising the amount of carbon in the atmosphere, and a large majority of the carbon released into the atmosphere comes from the transportation industry. The negative effects of fossil fuels on the environment have accelerated the trend toward electric vehicles (EVs) in the transportation industry. Even though EVs are very efficient, the type of electrical source that powers them determines how much of a negative influence they might have on the environment. Therefore, increasing the usage of Renewable Energy Sources (RES) is crucial. The infrastructure for charging electric vehicles to supply their energy requirements has grown in importance as the popularity of electric vehicles increases. Alternative charging techniques should be adopted because uncontrolled charging of electric vehicles would increase the burden on the power grid. To address this demand, numerous nations are working together. Our nation has just recently begun the development of the electric vehicle industry, based on the number of electric vehicles in Türkiye, but the number of electric vehicles is anticipated to progressively rise in line with the studies conducted. The question of how to charge the batteries of electric vehicles will arise in this circumstance. In this context, in this study, the integration of electric vehicles into the electricity grid, electric vehicle charging methods, smart charging types, renewable energy supported smart charging approaches and the relationship of smart charging with e-mobility are touched upon. Smart charging powered by renewable energy has been analyzed for the advantages it will bring to our nation, and recommendations have been made for how to put it into practice.

Keywords: Intelligent Transportation; Electric Vehicles; Renewable Energy Sources; Smart Charging; E-Mobility

1. Giriş

Dünyada teknolojinin hızla ilerlemesiyle ulaşım, sanayi, altyapı vb. sektörler de sürekli büyümekte ve gelişmektedir. Teknolojinin hızla ilerlemesi insan hayatını kolaylaştırıyor olsa da aynı zamanda çevreye de zarar vermektedir. Endüstriyel kirleticilere ek olarak, artan araç sayısının neden olduğu trafik, havadaki karbon miktarını artırmakta ve bu durum küresel ısınmaya neden olmaktadır [1]. Ulaşım sektörü dünya ortamındaki karbon salınımının %25'inden ve küresel petrol tüketiminin %55'inden sorumludur [2]. Ulaşım sektöründe kullanılan fosil yakıtların hızla azalması ve çevreye verdiği zarar nedeniyle temiz enerjili ulaşım araçlarına yönelim artmıştır. Elektrikli Araç (EA) teknolojileri, ulaşım sektöründeki gelişmeler doğrultusunda temiz enerji kaynakları ve enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaların sonucu olarak son yıllarda oldukça popüler bir konuma gelmiştir [3].

Ulaşım araçlarının elektrifikasyonu, atmosfere salınan karbon miktarını azaltmak için son derece önemlidir [3]. Küresel olarak, elektrikli araç satışları son yıllarda önemli ölçüde artmış ve 2019 verilerine göre elektrikli araç sayısı 5,6 milyon gibi önemli bir sayıya ulaşmıştır. İstatistiklere göre, küresel olarak satılan elektrikli araçların 2050 yılına kadar bir milyardan fazla olacağı öngörülmektedir [4]. Dünya çapındaki EA'ların sayısının belirtilen sayılara ulaşması mevcut şebeke sistemlerine büyük yükler getirecektir [3]. Bu durum, birçok ülkeyi, elektrikli araçların bataryalarını şarj edecek akıllı şarj sistemlerinin geliştirilmesi için çalışmalara başlamaya yönlendirmiştir.

Farklı türdeki EA'ların şarj davranışları da mevcut şarj altyapısının önemli ölçüde zorlanmasına ve çökmesine neden olabileceğinden akıllı şarj teknolojilerinin kullanılması oldukça faydalı olacaktır [1]. Akıllı şarj, EA'ların şarj döngüsünü hem güç sistemlerinin koşullarına hem de araç

kullanıcılarının ihtiyaçlarına göre uyarlamak anlamına gelmektedir. Bu, mobilite ihtiyaçlarını karşılarken elektrikli araçların güç sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştırır [4].

Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) güneş ışığı, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrojen olarak sıralanabilir. YEK'ler tüketilirken doğal döngü içerisinde hızlı bir şekilde kendini yenilediği için tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [5]. Son yıllarda, fosil yakıtların hızla azalması nedeniyle rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynakların elektrik şebekelerine entegrasyonu büyük oranda artmıştır [1].

Mobilite kelime anlamıyla bir yerden başka bir yere olan hareketliliği veya bir durumdan başka bir duruma geçişi ifade etmektedir. Elektromobilite (e-mobilite) ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı araçların hareketliliğini ifade etmektedir [6].

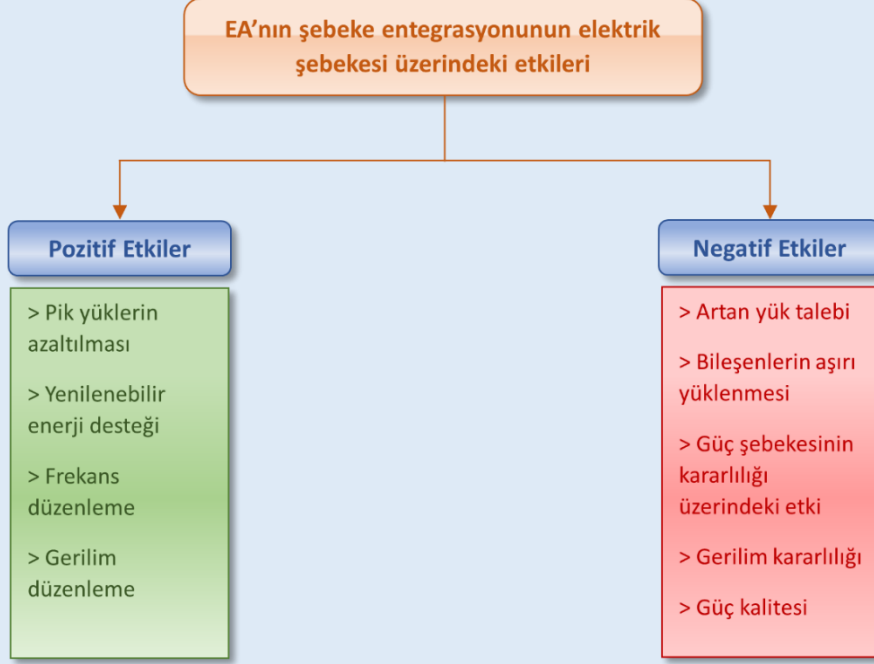
EA sayısındaki artışın neticesinde her aracın aynı anda kontrolsüz şarj edilmesi ve şarj eğilimlerinin mevcut yük zirveleriyle eşleşme ihtimali yerel güç şebekelerinde aşırı yüklenmeye neden olabileceğinden şebekedeki zirveyi artırabilir. Ayrıca zirveyi artıran bu ekstra yük üretim kapasitesini yükseltme ihtiyacına yol açacaktır. Bununla birlikte, EA'ların elektrik şebekesi için bağımsız dağıtılmış enerji kaynakları olarak hizmet verebilmesi ve e-mobilitenin yoğun, mobil ve kontrol edilebilir bir yük olduğu göz önüne alındığında, elektrikli mobilite için akıllı şarjın benimsenmesinin yenilenebilir enerji entegrasyonu ile olumlu bir etki oluşturması beklenmektedir [3], [4].

Literatürde, elektrikli araç şarj altyapısının dört temel unsurunun ve yenilenebilir enerji destekli akıllı şarj yöntemlerinin kamu kurumu yararları açısından değerlendirildiği ve yöntemlerin zorluklarının ve avantajlarının analiz edildiği [1], elektrikli araç türlerinin, şarj standartlarının ve güç dönüştürücü mimarilerinin analiz edildiği, şarj istasyonu altyapısı tasarımı ve uygulaması için EA şarj kontrolü ve elektrik enerjisi sistemlerinin YEK ile entegrasyonunun araştırıldığı [2], elektrikli araçlar için akıllı şarj konseptlerinin avantaj ve dezavantajlarının literatür doğrultusunda değerlendirildiği [3], elektrikli araç şarjının yapılabileceği üç temel altyapının kapsamlı olarak tartışıldığı, üç farklı akıllı şarj yönteminin sunulduğu ve bu yöntemlerin akıllı şarj sistemi üzerindeki etkisinin incelendiği [7] çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada elektrikli araçların elektrik şebekesine entegrasyonu ve elektrikli araç şarj yöntemleri, akıllı şarj çeşitleri, yenilenebilir enerji destekli akıllı şarj yaklaşımları ve akıllı şarjın e-mobilite ile ilişkisi incelenmiştir. Yenilenebilir enerji destekli akıllı şarjın ülkemize getireceği faydalar değerlendirilmiş ve uygulanabilmesi için öneriler sunulmuştur.

2. Materyal ve metot

2.1 Elektrikli araçların elektrik şebekesine entegrasyonu

Kentleşme ve nüfus artışıyla birlikte trafiğe çıkan araç sayısının her geçen gün artmasıyla atmosfere yayılan karbon salınımı da artmaktadır ve çevreye salınan karbon miktarının önemli bir kısmını ulaşım sektörü oluşturmaktadır [8]. Karbon salınımının küresel ısınmaya neden olması, geleneksel yakıtlı araçlarda kullanılan fosil yakıtların hızla tükenmesi ve buna karşılık elektrikli araçlar için şarj edilebilir batarya sistemleri ile ilgili yaşanan gelişmeler ulaşım sektöründe kullanılan araçlardaki elektrifikasyonu artırmıştır. Bu artışla birlikte son yıllarda EA'lara olan talep de artmıştır. Artan talebin Şekil 1'de gösterildiği gibi elektrik şebekesi üzerinde pozitif ve negatif etkileri vardır.

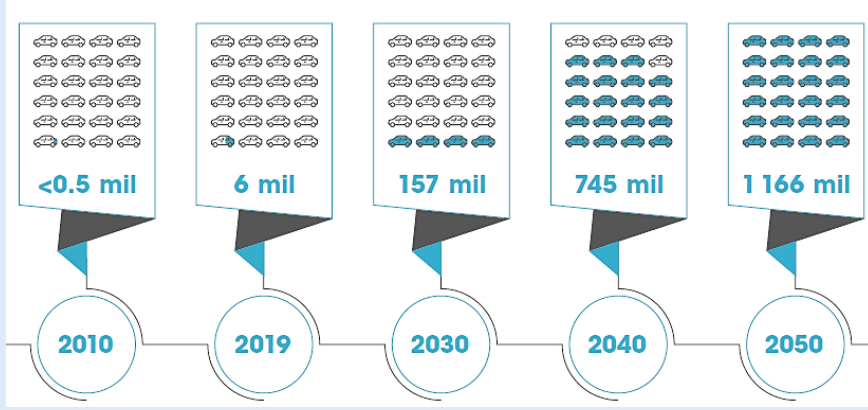


Şekil 1.

şebeke entegrasyonunun elektrik şebekesi üzerindeki etkileri

EA'nın

Almanya Güneş Enerjisi ve Hidrojen Araştırma Merkezi (ZSW) verilerine göre, 2019 yılının başında dünyada 5,6 milyon elektrikli araç bulunuyordu. Çin 2,6 milyon ve ABD 1,1 milyon EA ile en büyük pazarlardı. Şekil 2'de gösterildiği gibi 2040 yılından itibaren satılan araçların çoğu elektrikli olacak olursa, 2050 yılına kadar 1 milyardan fazla elektrikli araç yollarda olabilir [4]. Ancak elektrikli araçların fosil yakıtlı araçların yerini almasıyla ortaya çıkacak olan enerji ihtiyacının halihazırda bulunan elektrik güç sistemlerine büyük yükler getireceği de bilinmektedir. Çok sayıdaki EA'yı elektrik şebekesine entegre etme fikri büyük teknik zorluklar oluşturacaktır. Birden fazla EA'nın eşzamanlı kontrolsüz şarjı, güç şebekelerinde hem hatların hem de transformatörlerin aşırı yüklenmesine neden olabilir [3]. Buna bağlı olarak birçok ülke mevcut şebekelerini iyileştirmek veya yeni çözümler üretmek zorunda kalacaktır [3]. Mevcut şebekelerin iyileştirilmesi yerine şebekelerdeki aşırı yüklenmeyi önleyebilecek ve yenilenebilir enerji kaynaklarından en iyi verimle faydalanılabilecek akıllı ve esnek kontrol yöntemlerinin kullanılması mümkündür [3].



Şekil 2. 2010 ve 2050 yılları arasında Dünya'daki elektrikli araç dağıtımındaki artış [4].

2.2 Elektrikli araç için akıllı şarj yöntemleri

Elektrikli araçların şarj edilmesi kontrolsüz ve kontrollü şarj olmak üzere iki yöntemle mümkündür. Kontrolsüz şarj, şarj döngüsünde tüketimin en yüksek, güç kayıplarının fazla ve dağıtım transformatörlerinin aşırı yüklü olması anlamına gelir. Kontrollü şarj ise EA'ların şarjının pik yükte olmadığı ve şebeke yükünün en düşük seviyede olduğu durumlarda gerçekleşir [2]. Akıllı şarj noktaları, genel enerji arz ve talebine göre şarj veya deşarj için uygun zamanın ne zaman olduğunu belirtmek üzere enerji sistemi operatörleri veya üçüncü taraflarca gönderilen sinyalleri alabilen, anlayabilen ve yanıtlayabilen şarj noktaları olarak tanımlanmaktadır [4].

2.2.1 Kontrolsüz şarj

Kontrolsüz şarj, EA'nın bir şarj cihazına bağlandığı anda şarjın başlaması anlamına gelmektedir. Bu şarj türünde, şarj işlemi sabit bir güçte EA'nın bataryası dolana kadar devam etmektedir. Kontrolsüz şarjda şebekeye birden fazla EA'nın bağlanması durumunda, tüm araçlar aynı anda şarj olacak ve bu durum şebekeye ekstra yükler getirecektir. Bu yüklenme karşısında şebekenin zarar görmemesi için yapılması gereken yatırımlar oldukça maliyetlidir ve bu tür şarjın yenilenebilir enerji üretimi veya enerji fiyatları ile hiçbir ilgisi yoktur. Kontrolsüz şarjda, şarj işlemi bağlantı zamanına bağlıdır ve her zaman sabit bir güçte gerçekleşmektedir [3].

2.2.2 Kontrollü şarj

Kontrolsüz şarja alternatif olarak kontrollü veya akıllı şarj, şebekeye eşzamanlı olarak birden fazla EA'nın bağlanması durumunda şarj gücünün planlanmasını ve günün farklı saatlerine yayılmasını sağlayarak aşırı yüklenme ve iyileştirme için gereken maliyet gibi sorunlara çözüm olabilir. Akıllı şarj sistemi, şebekeye eşzamanlı bağlanan EA'ları aynı anda daha düşük enerjiyle şarj edebileceği gibi elektrik şebekesini izleyerek şebekeye daha az talep olduğu zamanlarda da daha fazla araç şarj edebilir.

Akıllı şarj EA'ların şarj ve deşarj edilmesi için istikrarlı ve uygun maliyetli esnek bir ortam sağlayan bir dizi akıllı işlemdir ve EA'lar ile elektrik şebekesi arasında iletişim kurarak şarj

cihazlarının enerji verimliliğini artırır [2]. EA'lar için akıllı şarj, temiz ulaşım sektörü ile düşük karbonlu elektrik enerjisi arasındaki sinerjiyi ortaya çıkarmanın bir anahtarıdır. Akıllı şarj EA'ların şebekeye olan yük etkisini en aza indirir ve daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı kullanma esnekliğinin önünü açar. Böylelikle akıllı şarj, elektrik şebekelerinin iyileştirilmesi noktasındaki maliyetleri azaltır ve kontrolsüz şarjın aksine, eşzamanlılığı ve talepteki zirve yükleri azaltır [4]. Akıllı şarj yöntemi ile şarj edilen EA'lar, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretiminin iyileştirilmesini, üretim kapasitesinin maksimum seviyeye çıkmasına yönelik yatırımların önlenmesini ve elektrik şebekesi güçlendirme ihtiyacının azaltılmasını sağlayabilir [4].

EA'ların akıllı şarj yaklaşımına bağlı olarak kullanım zamanlarının büyük bir çoğunluğunda park halinde olacakları düşünüldüğünde Şekil 3'te gösterildiği gibi tek yönlü kontrollü şarj (V1G), araçtan şebekeye kontrollü şarj (V2G) veya araçtan konuta/binaya kontrollü şarj (V2H/B) şeklinde güç sistemlerine çeşitli hizmetler sağlayabilir [4]. EA'lar için akıllı şarj yöntemleri, şarj oranının artırılmasına veya azaltılmasına imkân tanıyan tek yönlü EA kontrollü şarjı (V1G) ve EA'nın deşarj modunda şebekeye hizmet sunmasına imkân tanıyan çift yönlü kontrollü şarjdır (V2G). Buna ek olarak, araçtan konuta (V2H) ve araçtan binaya (V2B) kontrollü şarj, elektrik kesintisi durumlarında EA'ların konutlarda veya binalarda yedek güç kaynağı olarak veya konutta üretilen enerjinin tüketimini artırmak için kullanıldığı çift yönlü şarj yöntemleridir [4].



Şekil 3. Akıllı şarj yöntemleri

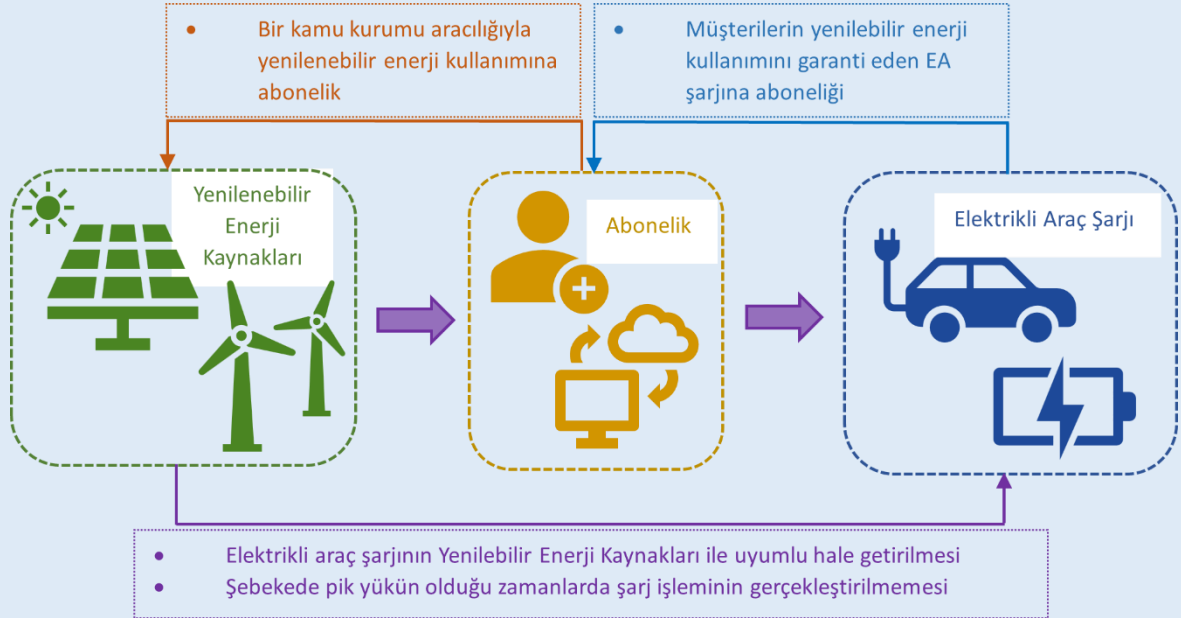
2.3 Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ve akıllı şarj

Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK), (güneş, rüzgâr, biokütle, hidrolik vb.) doğal döngüsü içinde kendini hızlıca yenileyebilen ve bu yüzden tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji üretimindeki maliyet düşüşleri, elektriği birçok ülkede ulaştırma sektörü için cazip ve düşük maliyetli bir yakıt haline getirmektedir [4]. Güneş, rüzgâr, biokütle ve diğer YEK'lerin benimsenmesi, çevreyi etkilemeden uygulanabilir bir alternatif sağlayabilir. Son zamanlarda akıllı şebekeler, akıllı ölçüm, kablosuz sensörler, iletişim çerçeveleri ve güç dönüştürücüleri de dahil olmak üzere akıllı teknolojilerdeki gelişmeler yaygın ilgi görmektedir. YEK kullanan şarj olanakları, bu buluşlar sayesinde daha hızlı ilerleyecektir [1].

Bu bağlamda, EA şarj talebinin YEK ile eşleştirilmesini sağlamak için akıllı şarj yaklaşımları geliştirilmiştir. Bunlar; şebeke şarjı (network charging), vardiya şarjı/vardiyalı şarj (shift charging), YEK ile üretilen fazla enerji ile şarj etme (charging with excess renewable), yerinde yenilenebilir enerji kaynakları (on-site renewables), yönetilen/yönetimli/yönetilebilir şarjdır (managed charging) [1].

2.3.1 Şebeke şarjı yaklaşımı (Network charging)

Şekil 4'te gösterildiği gibi şebeke şarjı, EA sahiplerinin araçlarını YEK kullanarak şarj etmelerini sağlayan pratik bir akıllı şarj yaklaşımıdır. Şebeke şarjı yaklaşımı, talep yanıtı ve enerji depolama gibi temel teknolojileri geliştirirken karbon emisyonlarını azaltmayı amaçlamaktadır. Şarj tesisinin yalnızca küçük bir kısmı müşterilerin elektriği YEK'den kullanmalarına izin vermektedir ve müşterilerin bu programa abone olması gerekmektedir. Bu yaklaşımda temel hedefler, yoğun saatlerde şarjı önlemek, EA şarjını YEK üretimi ile senkronize etmek ve ucuz fiyatları korurken ve müşteri tercihini teşvik ederken müşteri memnuniyetini artırmaktır [1].



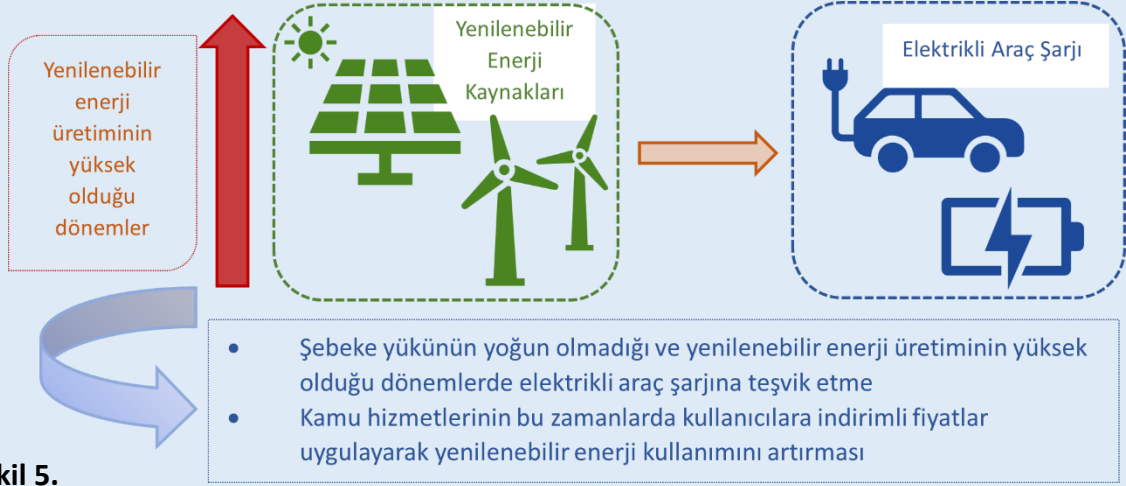
Şekil 4.

şarjı yaklaşımı (Network charging)

Şebeke

2.3.2 Vardiya şarjı/vardiyalı şarj yaklaşımı (Shift charging)

Vardiya şarjı/vardiyalı şarj, YEK üretiminin zamanlamasını EA şarjı ile eşleştirmeyi amaçlayan bir başka akıllı şarj yaklaşımıdır. Şekil 5'te gösterilmiştir. Vardiyalı şarj yardımcı programları, EA şarjını şebekeye gelen yüklerin yoğun olmadığı veya YEK üretiminin yüksek olduğu zamanlarda teşvik eder ve bu şebeke için daha uygundur. Vardiyalı şarj yaklaşımı, kamu hizmeti sağlayıcısına ve müşterilerine karşılıklı olarak fayda sağlamaktadır. Bu yaklaşım, sistem yönetimiyle ilgili masraflardan tasarruf sağlar ve müşteriler prim ödemekten muaftır [1].



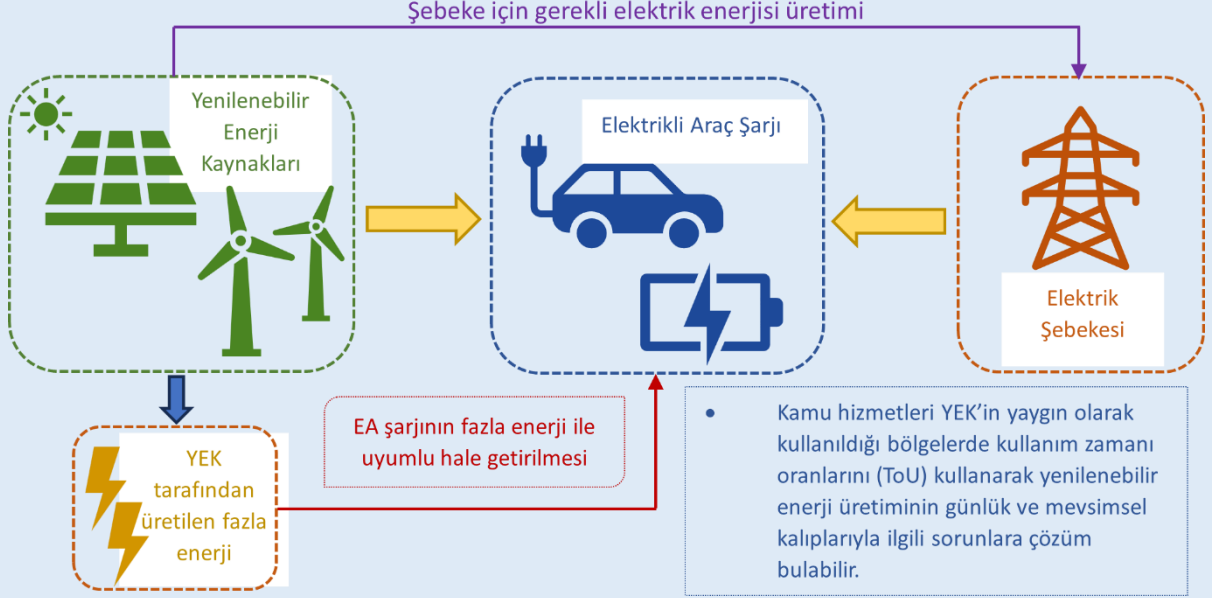
Şekil 5.

Vardiya şarjı/vardiyalı şarj yaklaşımı (Shift charging)

2.3.3 YEK ile üretilen fazla enerji ile şarj etme yaklaşımı (charging with excess renewable)

Şekil 6'da gösterilen yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile üretilen fazla enerji ile şarj etme yaklaşımı, şebeke entegrasyonuna yardımcı olmak için sistemin YEK tarafından üretilen fazla enerji ile uyumlu hale getirilmesidir. Bu yaklaşımda, elektrik üretim kaynaklarının, sistemin ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji ürettiği dönemlerde yükleri yönlendirmek için yenilenebilir enerji üretimine göre ters orantılı olarak değişmektedir. Kamu hizmetleri, özellikle YEK'in yaygın olarak kullanıldığı alanlarda YEK'e yönelik olarak kullanım zamanı oranlarını (ToU) kullanır. Kullanım zamanı oranları, genel sistem esnekliğini ve hareketli yük talebini artırarak yenilenebilir enerji üretiminin günlük ve mevsimsel kalıplarıyla ilgili bazı sorunların çözümüne yardımcı olabilir.

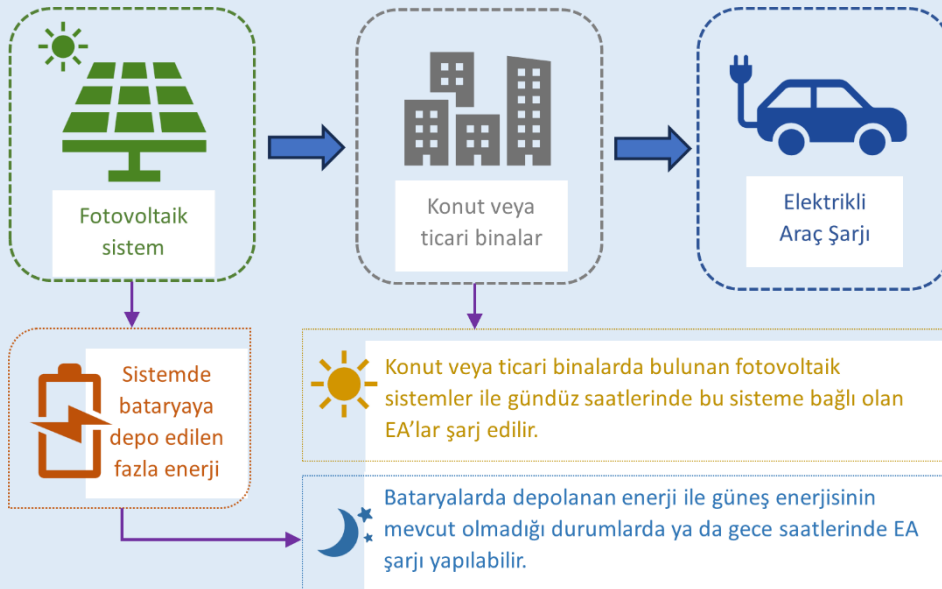
Güney Kaliforniya Edison gibi kamu hizmetleri, müşterilerini hafta içi ve hafta sonları gündüzleri güneşin fazla, geceleri ise rüzgârın fazla olduğu yoğun olmayan saatlerde şarj etmeye teşvik eden zamana dayalı bir oran oluşturmuştur. Bu yaklaşım, EA yükü için doğrudan enerji sağlamamakta, bunun yerine EA şarj zamanını şebekedeki fazla güneş enerjisi üretimiyle eşleştirmeye çalışmaktadır [1].



Şekil 6. YEK ile üretilen fazla enerji ile şarj etme yaklaşımı (charging with excess renewable)

2.3.4 Yerinde YEK yaklaşımı (On-site renewables)

Şekil 7'de gösterilen yerinde yenilenebilir enerji kaynakları yaklaşımında, EA şarjı, konut veya ticari uygulamalar için yerinde enerji üretimi (genellikle fotovoltaik sistem) ile eşleştirilmektedir. EA şarjı, yerinde YEK ile eşleştirildiğinde, şarj sürelerinin etkisini önlemek için sistemlerin aynı yerde konumlandırılması, yükü kontrol etmek için şarjın yönetilmesi veya batarya depolamanın entegre edilmesi gibi çeşitli yaklaşımlar kullanılabilir.



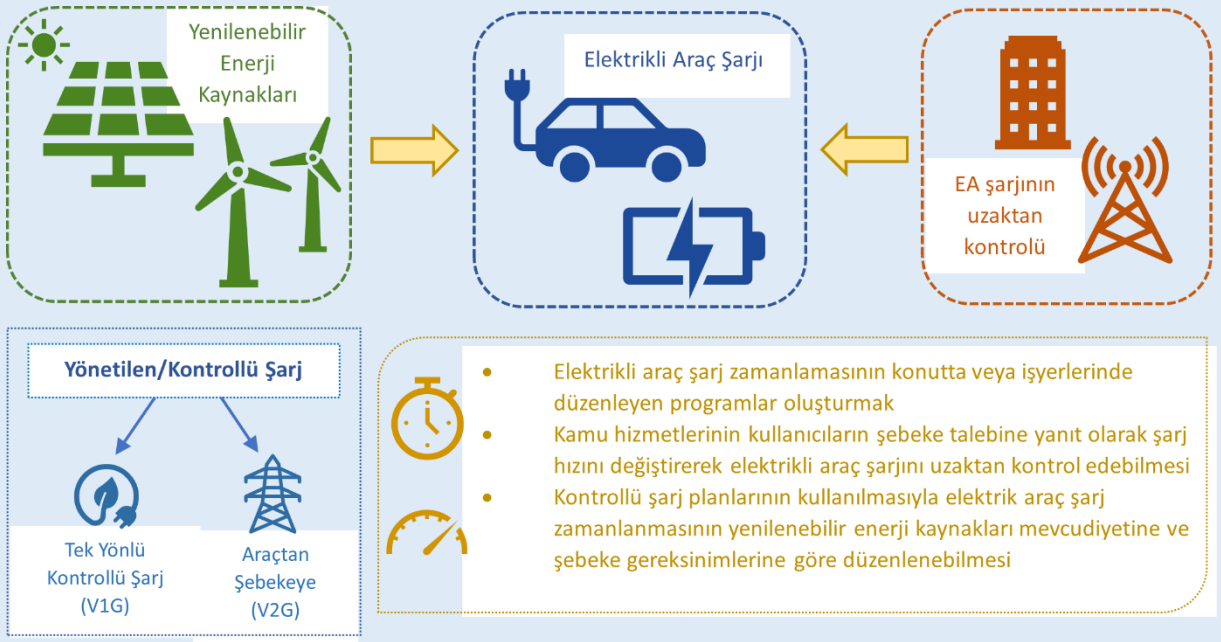
Şekil 7. Yerinde YEK yaklaşımı (On-site renewables)

Gündüzleri güneş enerji sistemi doğrudan bağlı EA'ları şarj eder ve fazla enerjiyi sisteme bağlı bataryalarda depolar. Depolanan enerji, güneş enerjisinin mevcut olmadığı zamanlarda EA'ları şarj etmeye devam etmek için kullanılabilir. Ayrıca geceleri şebekeye enerji aktarılabilir. Yerinde yenilenebilir enerji kaynakları yaklaşımının, konut müşterileri için yönetiminin nispeten kolay olması gibi avantajları vardır. Ancak birden fazla EA'nın eşzamanlı şarj olması durumunda anlık yükü yönetmek zor olabilir. Google, DirecTV, Tesla vb. endüstriler, yerinde yenilenebilir enerji kaynakları yaklaşımını mümkün kılmak için güneş enerjisi ve bataryalarla çeşitli programlar başlatmıştır [1].

2.3.5 Yönetilen şarj yaklaşımı (Managed charging)

EA şarjını YEK ile daha yakından ilişkilendirmek için, bir başka akıllı şarj yaklaşımı da EA şarjının zamanlamasını konutta ve işyerinde düzenleyen programlar oluşturmaktır. Şekil 8'de gösterilen yönetilen şarj yaklaşımı, kontrollü şarjın diğer adıdır ve tek yönlü yönetilen şarj (V1G) ve çift yönlü yönetilen şarj (V2G) olarak kategorize edilebilir.

V1G şarj sistemi, fiyatlandırma sinyallerine ve güç sistemi gereksinimlerine göre ayarlama yaparak şarj süresini ve oranını düzenler ve optimize eder. VG2'de, V1G'nin aksine, bir EA, doğada dağıtılan ve ihtiyaç duyulduğunda şebekeye ekstra güç sağlama kapasitesine sahip bir enerji depolama görevi görmektedir. Bu yaklaşımı kullanarak kamu hizmetleri, şebeke talebine yanıt olarak şarj hızını değiştirerek EA şarjını uzaktan yönetebilir. Kontrollü şarj planları aracılığıyla tüketiciler, kamu hizmetleri ve hatta otomobil üreticileri, EA şarj zamanlamasını temiz enerji kaynaklarının mevcudiyetine ve şebeke gereksinimlerine uyacak şekilde düzenleyebilir [1].



Şekil 8. Yönetilen şarj (Managed charging)

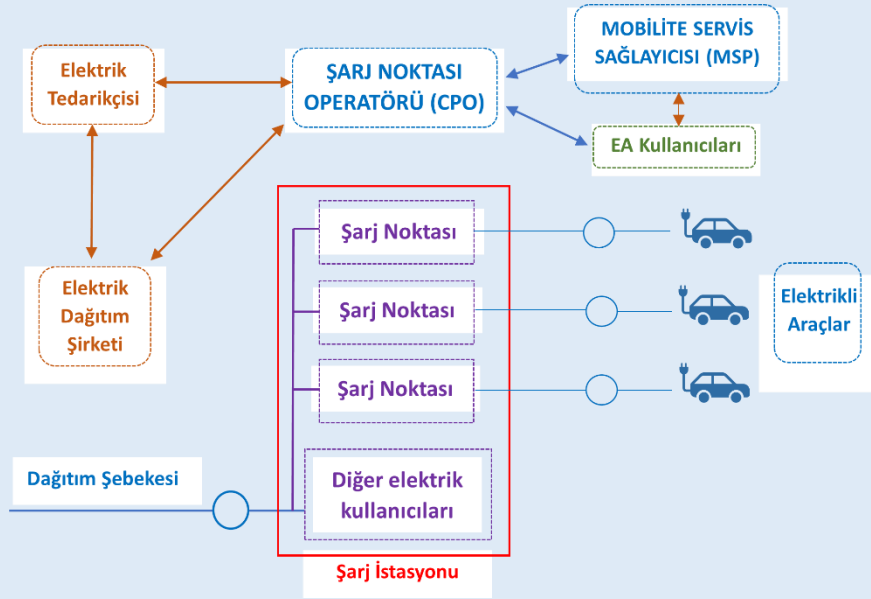
2.4 Akıllı şarj ve e-mobilite

Akıllı şarjın bir diğer önemli ve tanımlayıcı özelliği, elektrik enerjisi piyasası ile e-mobilite arasındaki önemli bir noktada bulunmasıdır. E-mobilite pazarının (EA sürücüleri, şarj noktası operatörleri, mobil servis sağlayıcıları) elektrik piyasasından bağımsız hareket ettiği kontrolsüz şarjın aksine, akıllı şarj, her ikisinin de e-mobiliteye uyum sağlaması için ikisi arasında yakın bir koordinasyon sağlar [4].

E-mobilite, inşa edilmesi, işletilmesi ve bakımı gereken yeni bir şarj altyapısı gerektirir. Bu durum ulaşım sektörünün elektrifikasyonunun, mevcut içten yanmalı araçların yakıt ikmali altyapısına kıyasla görevli ve yeni aktörlerin ilgili ve farklı roller oynayacağı yeni bir değer zincirine yol açabilmesinin ana nedenlerinden biridir [9].

EA'ların e-mobilitesi göz önüne alındığında ise EA'lar için sabit ve dinamik şarj altyapısının kullanılması mümkündür. Sabit şarj istasyonları EA park halindeyken EA'ları şarj etmeye imkân tanır. Bununla birlikte dinamik şarj topolojisi veya e-mobiliteye duyarlı teknoloji örneğin EA'ların giriş ve çıkışlarının plansız olduğu durumlar gibi çeşitli hareketlere aşınadır ve bu EA'lar arasındaki mekânsal-zamansal ilişki nedeniyle daha gerçekçi olacaktır [2].

Akıllı şarj noktaları, enerji arz ve talebine göre elektrikli araç şarj veya deşarjı için uygun zamanın ne zaman olduğunu belirtmek üzere şarj noktası operatörleri veya üçüncü taraflarca gönderilen sinyalleri alabilen, anlayabilen ve yanıtlayabilen şarj noktaları olarak tanımlanmaktadır [4].



Şekil 9. E-mobiliteye dahil olan aktörlerin arasındaki ilişki [4]

Akıllı şarj noktaları için kilit roller Şekil 9'da gösterildiği gibi Şarj Noktası Operatörü (Charging Point Operator) (CPO) ve Mobilite Servis Sağlayıcısıdır (Mobility Service Providers) (MSP). Bir yandan, akıllı şarj yöntemlerinin ve çift yönlü kontrollü şarj (V2G) kullanım durumlarının potansiyelini ortaya çıkarmak için bir EA filosunun şarj edilmesi bir şarj noktası operatörü tarafından kontrol edilebilir. Şarj noktası operatörünün rolü, kamu hizmeti sağlayıcısının kendisi, elektrik tedarikçisi, bir e-mobilite organizasyonu veya talep yanıt hizmetlerinde

uzmanlaşmış bir şirket tarafından üstlenilebilir. Öte yandan mobilite servis sağlayıcısı, şarj noktası operatörü ile EA sürücülerini arasında aracı görevi görebilir [4].

3. Genel değerlendirmeler ve tartışma

E-mobilite kavramı, gelecek için çevreci, sürdürülebilir ve yüksek verimli olmak taahhüdüyle yeni bir teknolojik değişime doğru dönüşmektir. Bu bağlamda ulaşım sektörünün geleceği de çevre dostu, her düzeyde daha güvenli ve diğer sistemlerle iletişim kurabilen bir konumda olacaktır.

Elektrikli araçlara yönelik yüksek kapasiteli enerji depolama sistemlerinin geliştirilmiş olması, akıllı şarj yöntemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik teşvikler ulaşım sektörünün önemli bir parçası olan EA'ların sayısını artırmaya devam edecektir.

EA sayısındaki artış EA'ların güç şebekesine entegrasyonunda belli zorluklar oluşturabileceğinden EA'ların kontrolsüz şarjla eşzamanlı olarak şarj edilmesi yerine şarj zamanının planlanabildiği ve şebeke yükünün düşük olduğu zamanlarda şarj işleminin gerçekleştirildiği kontrollü/akıllı şarjla (V1G ve V2G) EA şarjını gerçekleştirmek sürdürülebilirliği sağlayacaktır. Çünkü akıllı şarj, üretim ve depolama için yeterli güç kaynağı ve şebeke kapasitesi sağlandığında elektrik şebekesindeki talep yükünü dengeler.

Mevcut şarj altyapılarına yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesi de şebeke üzerindeki yükü ve şebekeye olan bağımlılığı azaltacaktır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen fazla enerji V2G akıllı şarj konsepti ile şebekeye geri verilebilir. Fakat hızlı ve akıllı şarj benimsenmesine rağmen yenilenebilir enerji destekli akıllı şarjın erişiminin sınırlı olduğu inkâr edilemez. Bu nedenle bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı elektrikli araç akıllı şarj yaklaşımları ele alınmıştır.

Şebeke şarjı (network charging), vardiya şarjı/vardiyalı şarj (shift charging), YEK ile üretilen fazla enerji ile şarj etme (charging with excess renewable), yerinde yenilenebilir enerji kaynakları (on-site renewables) ve yönetilen/yönetimli/yönetilebilir şarj (managed charging) yaklaşımları incelendiğinde EA'lara yönelik sürekli artan talep sonucu enerji ihtiyacını karşılamak için daha fazla şarj istasyonuna ihtiyaç duyulduğu ve bunun da sürdürülebilir hedeflere ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile mümkün olacağı görülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Fosil yakıt kullanımının karbon salınımını artırması ve buna bağlı olarak küresel ısınmaya neden olması sürdürülebilir ve çevreci bir ulaşım sistemine geçişte ulaşım sektörünün elektrifikasyonunun kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması bu geçişe ana katkı sağlayacak etken olarak görülmektedir. Fakat EA sayısının artması aynı zamanda elektrik şebekesinin aşırı yüklenmesine de neden olacaktır. Bu noktada, EA'ların şarj edilmesi için şarj gücünü planlayıp günün farklı saatlerine yayabilen ve bu sayede mevcut şebekelerdeki aşırı yüklenmeyi önleyebilen akıllı şarj sistemlerinin kullanılması yerinde bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. EA sayısının artması aynı zamanda şarj istasyonu sayısının artırılması durumunu da beraberinde getireceğinden EA akıllı şarjının yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilmesi önemli hale gelmektedir. EA'lara olan

talebin artmasıyla meydana gelecek olan enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak mantıklı bir karar olacaktır. Dünya’da bazı ülkelerde akıllı şarj sistemleri ve bu sistemlere YEK’lerin entegre edilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır ancak bu konu ülkemiz için henüz yenidir.

Ülkemizdeki EA sayısının arttığı düşünüldüğünde enerji talebini karşılamak için gereken şarj altyapısındaki gelişmelerin de eşzamanlı olarak artması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen yenilenebilir enerji destekli akıllı şarj yaklaşımlarının ülkemiz için farklı enerji kaynaklarına ve dışarıya bağımlı olma noktasında faydalı olabileceği, başlangıçta büyük kentsel alanlarda (örneğin, kamu binalarında pilot uygulamalarla) sonrasında tüm ülkede hayata geçirilebileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] P. Barman vd., “Renewable energy integration with electric vehicle technology: A review of the existing smart charging approaches”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 183. Elsevier Ltd, 01 Eylül 2023. doi: 10.1016/j.rser.2023.113518.
- [2] K. Taghizad-Tavana, A. Alizadeh, M. Ghanbari-Ghalehjoughi, ve S. Nojavan, “A Comprehensive Review of Electric Vehicles in Energy Systems: Integration with Renewable Energy Sources, Charging Levels, Different Types, and Standards”, *Energies*, c. 16, sy 2. MDPI, 01 Ocak 2023. doi: 10.3390/en16020630.
- [3] C. Kutlu ve H. Özbay, “Elektrikli Araçlar için Akıllı Şarj Sistemleri”, içinde 1 st *International Conference on Innovative Academic Studies*, Konya, Eyl. 2022, ss. 982-987. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.iciias.net/>
- [4] International Renewable Energy Agency, *Electric-Vehicle Smart Charging*. Abu Dhabi, 2019.
- [5] A. Kerem, “Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, sy 1, ss. 1-13, 2014, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://febed.mehmetakif.edu.tr>
- [6] “Mobilite Sektörü ve Bilinmesi Gereken Önemli Kavramlar”. Erişim: 25 Eylül 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.goinn.co/blog/mobilite-sektoru-ve-bilinmesi-gereken-onemli-kavramlar>
- [7] S. Sachan, S. Deb, ve S. N. Singh, “Different charging infrastructures along with smart charging strategies for electric vehicles”, *Sustain Cities Soc*, c. 60, Eyl. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102238.
- [8] H. Özbay, C. Közkurt, A. Dalcalı, ve M. Tektaş, “Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, c. 3, sy 1, ss. 34-50, Nis. 2020.
- [9] G. Ardito, “E-mobility charging sites”, *Master of Science in Environmental Management and Policy*, Lund, Sweden, 2018.

Kentiçi Ulaşım Hizmeti Memnuniyeti: Bandırma Örneği

Necla Tektaş¹, Mehmet Tektaş², Sevin Karagöz^{3*}

¹Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

³Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Bandırma, Türkiye

* sevinkaragoz@hotmail.com

ORCID- 0000-0002-8190-4532¹, ORCID-0000-0001-9564-8069², ORCID-0009-0005-9930-7735³

Özet

Günümüzde nüfusun hızlı artışı ve buna bağlı olarak genişleyen yerleşim yerleri arasındaki iletişim ulaşım ile meydana gelmektedir. Bu nedenle ulaşım hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Geniş kitleler tarafından ulaşım için kullanılan toplu taşıma araçlarına duyulan ihtiyaç önem kazanmıştır. Kent içi toplu taşıma hizmeti genellikle yerel yönetimler tarafından sağlanmaktadır. Yerel yönetimlerin sunduğu bu hizmeti alan kişilerin aldıkları hizmetten memnuniyetlerine yönelik çalışmalar pek çok yönetim tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda yapılan düzenlemeler ile birlikte kalite artışı görülmekte ve kişilerde bu süreçte memnun olmaktadır. Bu çalışma Bandırma Belediyesi'nin sunduğu toplu taşıma hizmetinden memnuniyet düzeyi ve buna etki eden faktörleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırmada veriler kolayda örnekleme yöntemine göre yüz yüze anket tekniği kullanılarak toplanmıştır. Verilerin istatistiksel analizinde faktör analizi uygulanmış ve üç faktör elde edilmiştir. Bu faktörlerle oluşturulan çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle elde edilen modele göre toplu taşıma hizmet kalitesi ve toplu taşıma çalışanlarının değerlendirilmesinde memnuniyetin artışına neden olurken, toplu taşımaya erişim faktöründe memnuniyetin azalmasına sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ulaşım, Memnuniyet, Yerel Yönetim

Satisfaction with Urban Transportation Service: The Case of Bandırma

Abstract

Nowadays, the rapid increase in population and the communication between the expanding settlements occur through transportation. For this reason, transportation has become an indispensable part of our lives. The need for public transportation vehicles used by large masses of people has gained importance. Urban public transportation service is generally provided by local governments. Many administrations carry out studies on the satisfaction of people who receive this service provided by local governments with the service they receive. With the arrangements made as a result of these studies, there is an increase in quality and people are satisfied in this process. This study was conducted to determine the level of satisfaction with the public transportation service offered by Bandırma Municipality and the factors affecting it. In the research, data were collected using face-to-face survey technique according to the convenience sampling method. Factor analysis was applied in the statistical analysis of the data and three factors were obtained. According to the model obtained by the multiple linear regression method created with these factors, it was observed that while it

caused an increase in satisfaction in the evaluation of public transport service quality and public transport employees, it caused a decrease in satisfaction in the access to public transport factor.

Keywords: Transportation, Satisfaction, Local Government

1. Giriş

Hizmet kavram olarak, insanların gereksinimlerini gidermek amacıyla belli bir fiyattan satışa sunulan ve bir malın mülkiyetini gerektirmeyen, yarar ve doyum sağlayan, soyut faaliyetler bütünüdür. Hizmet, tüketicilerin yaşantılarından kaynaklanan ve çoğunlukla fiziksel olmayan sorunlarını çözen ya da çözümünü kolaylaştıran sistemler, faaliyetler ve faydalar toplamıdır [1]. Toplu taşıma hizmeti sunan işletmeciler, genel olarak otobüslerin ve trenlerin hizmette olması gibi işletmeye ilişkin noktalara odaklanmıştır. 1990'lı yıllara kadar ulaşım ile ilgili çalışmalarda kullanıcılar ele alınmamıştır. Günümüzde hâlâ küçük firmalar kaynak ve bütçe sıkıntıları sebebiyle, hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti gibi konulara öncelik verememektedir. Daha fazla kaynağa ve daha seçici müşteriye sahip olan büyük firmalar, müşterilerinin hizmet kalitesi algısının ölçülmesi konusunda öncülük etmektedirler [2].

Ulaşım, bireylerin yaşam süresi boyunca vazgeçemedikleri önemli bir hizmettir. Günümüz şartlarında ulaşım davranışları, araç türü, gidiş mesafesi, gidiş süresi, ulaşım kalitesi, ulaşım memnuniyeti ve fiyatları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Gelişen hayat standartlarında, insanların evlerinden uzak yerlere, iş okul, alışveriş, hobi, hastane/doktor ve diğer birçok nedenden dolayı seyahat etme durumu doğmuştur. Herkesin kendi ulaşım vasıtasını sağlayamama durumu ise, toplu taşıma vasıtalarını ihtiyaç haline getirmiştir. Özellikle, fabrikaların, üniversitelerin ve büyük iş yerlerin şehir dışında yapılması, bireylerin toplu taşıma hizmeti sunan minibüs, otobüs ya da tramvaylardan faydalanmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda işin büyük bir kısmı yerel yönetimlere yani belediyelere düşmektedir ve günümüz şehirleşme standartlarında gelişen koşullarda vatandaşın istek, beklenti ve memnuniyetini ön planda bulundurması kamu yönetimi ve özellikle belediyeler üzerinde bir baskı yaratmaktadır. Toplu ulaşım hizmeti veren belediyeler açısından müdahale edilebilir etmenler konusunda yolcuların memnuniyet düzeylerinin ölçülmesi, sunulan hizmetin kalitesi vb. farklı durumların değerlendirmesi yapılmaktadır. Böylece gelişmeler doğrultusunda düzenleyici ve önleyici faaliyetler planlanmakta ve yürütülmektedir. Bireylerin hizmete olan memnuniyeti, verilen hizmetin kalitesinin ölçülmesinin en elverişli ve yaygın yolu ise ankettir. Yapılan çalışmaların doğrultusunda elde edilen anket sonuçlarını etkili bir şekilde değerlendirmek, hizmet, memnuniyet, kalite ve yönetim anlayışını yenilemek ve gerekli tedbirleri uygulamak, belediye yönetimlerinin başarısını artırmakla kalmaz, aynı zamanda halkın memnuniyetini de artırmaktadır. Toplu taşıma unsurlarının temel sorunlarının tespit edilmesi ve çözüm önerilerinin tanımlanması konusunda yol göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, Bandırma ilçesinde yaşayan toplu taşıma hizmetinden faydalanan bireylerin bu hizmetten memnuniyetleri ve memnuniyete etki eden faktörlerin belirlenmesidir.

a) Ulaşım Hizmeti

Ulaşım hizmetleri, hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Ekonomik gelişmelere bağlı olarak iş, eğitim ve turizm amaçlı seyahatler artık kaçınılmazdır. Bireylerin kendi ulaşım araçlarını sağlayamama durumu, toplu taşıma araçlarını bir ihtiyaç haline getirmiştir. Ulaşım hizmetleri;

- Hava Yolları
- Demir Yolları
- Kara Yolları
- Deniz Yolları

olarak farklı kategorilerde incelenmektedir. Ayrıca toplu taşıma ve kargo gibi alt kategorilere de ayrılmaktadır. Bu çalışmada karayolu toplu taşıma hizmetleri ele alınacaktır [3].

Karayolu taşımacılığı, üretim noktasından tüketim noktasına aktarmasız ve hızlı taşıma yapılmasına uygun olması nedeniyle, diğer taşıma türlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Ekonomik kalkınma ve toplum refahının gelişmesinde büyük önemi olan karayolu taşımacılığı, kendi bünyesinde başlı başına ekonomik bir faaliyet olduğu gibi, diğer sektörlerle de çok yakın ilişkisi olan ve bu sektörleri olumlu veya olumsuz yönde etkileyen bir hizmet türü konumundadır. Sadece karayoluna dayanan ulaştırma sektörü; kirlenmeyi, kazaları ve trafik tıkanıklığını artırmaktadır. Ayrıca, ekonominin gelişmesindeki hareketliliği de sınırlamaktadır. Karayollarının dışında diğer ulaşım modlarının geliştirilmesi durumunda ise sektörün ekonomik kalkınmaya etkisi de artış göstermektedir. Dünya yol istatistikleri incelendiğinde; çok gelişmiş ülkeler de dahil birçok ülkede yolcu ve yük taşımacılığında karayoluna olan talebin daha yüksek olduğu görülmektedir [4].

b) Memnuniyet

Bir mal ya da hizmetle ilgili beklentileri karşılanmış bir müşterinin, işletmede tutulması ve tekrar mal ve hizmet satın almasının sağlanması, diğer kişilerin işletmeden mal ve hizmet almasından çok daha kolay olacaktır. Bağlı müşteriler, çevrelerindeki insanlara işletme hakkında olumlu tavsiyelerde bulunarak işletmenin adının duyulmasını ve tanınmasını da sağlarlar. Müşteri memnuniyeti, firmaların uzun dönem rekabet avantajı sağlamalarında ve amaçlarına ulaşmalarında önemli bir rol üstlenmiştir.

Bireylerin mal ve hizmetten algıladıkları performans ile kendi beklentileri arasındaki ilişki memnuniyet olarak tanımlanmaktadır. Tüketici memnuniyeti, tüketici beklentilerinin bir fonksiyonudur. Tüketicinin ürünle ilgili tecrübeleri beklentilerinden yüksek ise o tüketici memnun olmakta, düşük ise memnun olamamaktadır.

c) Ulaşılabilirlik

Hizmetlerin sunumunda müşteri ve servis sağlayıcının yüz yüze karşılaşma gerekliliği, coğrafi anlamda müşteri ile firmanın bir araya gelmesini gerektirmektedir. Bu durum hizmet sektöründe coğrafi yakınlığı ön plana çıkarmaktadır. Bunun yanında, müşteriler satın aldıkları hizmetlere daha kolay ulaşmayı istemektedirler. İşletmelerin bu noktada yapacakları uygulamalarla müşterilerin hizmetlere daha kolay ulaşmalarını sağlamaları önem arz etmektedir. Bu açıdan bakıldığında, elektronik ticaret ve yeni teknolojilerin kullanılmaya başlaması işletmelerin işini kolaylaştırmıştır. Ulaşılabilirlik, aranan bilgilerin elde edilme kolaylığı olarak açıklanmıştır. Bugün birçok sektörde (perakende, turizm, eğitim, danışmanlık

hizmetleri ve finansal hizmetler), gelişen teknolojileriyle birlikte, müşterilerin firmalara ve hizmetlere ulaşımını daha kolay hale getirmek için dijital uygulamalar kullanılmaktadır.

Ulaşılabilirlik geliştirdiği hizmet kalitesi modelinde kalitenin alt boyutu olarak görülmektedir. Bu çalışmada ise ulaşılabilirlik, kolay iletişim kurma, telefonla hizmetlere kolay ulaşma, bekleme süresinin uzun olmaması, hizmetin uygun saatlerde sunulması ve hizmetin sunum yerinin alanının uygun bir yerde olması şeklinde tanımlanmaktadır. Ulaşılabilirlik kavramı ile hizmeti alan kişilerin memnuniyeti arasında pozitif bir ilişkinin olduğu çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir [5].

d) Kent İçi Ulaşım

Kent yaşamının en önemli unsurlarından olan kent içi ulaşım hem gelişen modern toplumların hem de ekonomik büyümenin temel göstergelerinden biridir. Dünyada kentsel ulaşımın önemi, İkinci Dünya Savaşı'nın ardından otomobilin ve motorlu taşıtların sayılarının hızla artışına bağlı olarak ön plana çıkmış ve kentlerde, şirketler gibi rekabet etmeye başlamışlardır. Kentler içinde kent içi ulaşımının gelişmişlik düzeyi en önemli rekabet avantajı sağlayan unsurdur [6].

Kentiçi toplu ulaşım hizmetleri, yaşanılan yer içinde vatandaşların ulaşımını sağlamak amacıyla sunulan çeşitli hizmetleri içerir ve trafik sorunlarını azaltmak, çevre dostu ulaşım sağlamak ve daha fazla insanın güvenli bir şekilde seyahat etmesine yardımcı olmak için önemlidir. Bu hizmetler, şehir içi hareketliliği kolaylaştırmanın yanı sıra yaşam kalitesini artırmaktadır.

Kent içi toplu ulaşım hizmetlerinden memnuniyet ve beklentiler, şehir sakinlerinin ve ulaşım hizmetinden yararlananların günlük yaşamlarını etkileyen önemli konulardır. Bu hizmeti alanların memnuniyet seviyeleri ve beklentilerine etki edecek faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hizmet Kalitesi: Yolculuk sırasındaki rahatlık, temizlik, güvenlik ve hız gibi hizmet kalitesi faktörleri
- Fiyatlandırma: Ulaşım ücretleri ve bilet maliyetleri,
- Güvenlik: Yolculuk sırasındaki güvenlik önlemleri,
- Erişilebilirlik: Toplu taşıma araçlarına erişim, özellikle engelliler ve yaşlılar için erişilebilirlik
- Saatler ve Sıklık: Toplu taşımanın hizmet saatleri ve sefer sıklığı, hizmetlerin düzenli ve sık olması,
- Hizmet Kapasitesi: Yoğun saatlerde ve duraklarda hizmetlerin yeterli kapasitede olması, yolcuların rahat bir şekilde yolculuk yapabilmesi,
- Temizlik ve Bakım: Araçların ve istasyonların temizlik ve bakım durumu
- Bilgilendirme: Yolcuların seyahat bilgilerine kolay erişebilmeleri ve gecikmeler hakkında bilgilendirilmeleri,
- Çevresel Faktörler: Toplu taşıma araçlarının çevre dostu olması ve trafik sıkışıklığını azaltması,
- İhtiyaçların Karşılanması: Kent içi toplu ulaşımın, farklı yaş grupları, sosyo-ekonomik gruplar ve engelliler gibi farklı ihtiyaçları karşılayabilmesi de önemlidir.

Memnuniyet ve beklentiler, yerel yönetimler ve toplu taşıma hizmet sağlayıcıları için önemli bir geri bildirim kaynağıdır. Bu geri bildirimler, hizmetlerin sürekli iyileştirilmesine ve

kullanıcıların gereksinimlerinin daha iyi karşılanmasına yardımcı olabilir. Bu nedenle, düzenli olarak memnuniyet anketleri düzenlemek ve kullanıcıların beklentilerini anlamak önemlidir.

2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Çatı 2003 yılında yaptığı çalışmasında ulaşım hizmetlerinde hizmet kalitesini uygulamalı olarak ele almıştır. Burada hizmet kalitesini ölçmek için yöntemler geliştirmiş ve hizmet kalitesini ölçmek için müşteri algılamalarını esas alan SERVPERF metodu kullanılmıştır. Araştırmanın sonucunda, ulaşım hizmetlerinde kalite, rahat yolculuğun gerçekleştirilmesini sağlayan önemli olgu olduğunu ortaya çıkarmıştır. Araçlara fazla yolcu alınması ve personel davranışlarının olumsuzlukları giderilerek hizmet kalitesi yükseltilebilir sonucuna varmıştır [7].

Belediye hizmetlerinden halkın duyduğu memnuniyet Uşak Belediyesi örneğinde ölçülmüştür. Çalışmada, Uşak'ta yaşayan 384 vatandaşa yüz yüze anket uygulanarak vatandaşın belediye hizmetlerinden duyduğu memnuniyetin yaşa, cinsiyete, mesleğe, eğitim düzeyine ve gelir düzeyine göre farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizleri yapılarak vatandaş memnuniyeti belirlenmiştir [8].

Güney Afrika'da Luke ve Heyns mevcut toplu taşıma politikasının bir taslağını hazırlamışlar ve bunu Güney Afrika Ulaştırma Durumu Anketi olarak uygulanan bir kamuoyu araştırmasının sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve kamuoyunun gerçek toplu taşıma politikasını belirlemeye çalışmışlardır [9].

İstanbul'da İETT tarafından sunulan toplu ulaşım hizmetlerinde metro kullanan yolcuların bu hizmetten arzu ettikleri hizmet kalitesi ile algıladıkları hizmet kalitesi arasındaki farkın belirlenmesi ve bu farkın hangi sebeplere dayandığını belirlemek amacıyla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, anket yöntemiyle toplanan verilerin istatistiksel analizleri sonucunda toplu ulaşım hizmetlerinin kalitesinde memnuniyet açısından anlamlı olan faktörler belirlenmiş ve yolcuların demografik özelliklerinin memnuniyet düzeyleri üzerine etkisi incelenmiştir [10].

“Toplu Ulaşım Sistemlerinde Operasyonel Etkinlik ve Hizmet Kalitesi Analizi” başlıklı çalışmada otobüs hatlarının performansının hem işletmeci hem de kullanıcı açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İşletmecinin bakış açısını yansıtan operasyonel etkinlik, Veri Zarflama Analizi ile kullanıcının bakış açısını yansıtan hizmet kalitesi ise Analitik Hiyerarşi Prosesi ve TOPSIS'ten oluşan iki aşamalı bir yaklaşım ile ölçülmüştür. Böylelikle her bir otobüs hattının operasyonel etkinlik ve hizmet kalitesi skoru elde edilmiştir. Bu skorlar kullanılarak otobüs hatlarına ilişkin performans iyileştirme önerileri oluşturulmuştur [11].

Tokat ili özelinde yerel toplu taşıma sistemini kullananların hizmet kalite algılarını ve hizmet kalitesi ile yolcu memnuniyeti arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışmada veriler yüz yüze anket uygulaması ile toplanarak istatistik analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin analizinde açıklayıcı faktör analizinin sonucunda hizmet kalite boyutları, personel tutum ve davranışları, fiziki unsurlar ve zamanında hizmet olmak üzere üç faktör olarak tespit edilmiştir. Yolcular tarafından algılanan hizmet kalitesinin memnuniyete ve tekrar tercih etme davranışında etkili olduğu sonucu ortaya konulmuştur [12].

İstanbul ilinde kent içi otobüs memnuniyet anketi verileri ve faktör analizinden yararlanılarak otobüslerin hizmet kalitesinin modellenmesi ile ilgili yapılan çalışmada İETT örneği ele alınarak İstanbul'da otobüsler için hizmet kalite ölçütleri belirlenmiştir. Bu çalışmada veriler, otobüs

hizmetlerinin kalitesini değerlendirmek için, İETT tarafından internet üzerinden kullanıcılara uygulanan memnuniyet anketlerinin 2177 tanesinin sonuçları kullanılarak faktör analizi uygulanmış ve çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. İETT kullanıcılarının hizmete erişime, konfordan daha fazla önem verdikleri ortaya çıkmıştır [13].

İspanya'da şehrin toplu taşıma sistemini entegre eden çeşitli hatlarda hizmet memnuniyetinin bir gün içindeki gelişimi izlenerek analiz yapılmıştır. Bu çalışmada; bir gün içerisinde memnuniyet algısının şehrin farklı noktalarındaki değişimi analiz edilmiştir. Hizmetle ilişkin genel kullanıcı memnuniyetinin günün yoğun saatlerinde azaldığını, düşük frekanslı hatlarda daha fazla değişiklik yaşandığını ve yolculuğun yönüne ve konumuna bağlı olabileceği sonuçlarına ulaşmışlardır [14].

İSPARK (Akıllı Otopark Hizmetleri), İBB Cep Trafik (Trafik Bilgilendirme Uygulaması) ve Akıllı Trafik Sinyalizasyon Sistemleri olmak üzere İstanbul illinde, İBB akıllı ulaşım uygulamalarının vatandaşlara yönelik değerlendirmelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada bireylerin uygulamalara yönelik değerlendirmelerinin akıllı uygulama türüne göre farklılaşp farklılaşmadığını tespit etmek ve üç ulaşım uygulamasına yönelik vatandaş tepki değerlendirmelerinin demografik gelişime göre farklılaşp farklılaşmadığı araştırılmıştır. İBB Cep Trafik uygulamasına yönelik %76,4 oranında, Akıllı Trafik Sinyalizasyon Sistemlerine yönelik olarak %70,8 oranında, İSPARK Akıllı Otopark Hizmetlerine yönelik olarak %64,2 oranında memnuniyet duyulduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, vatandaşların İBB Akıllı ulaşım uygulamalarına yönelik memnuniyet değerlendirmeleri cinsiyete, yaşa, medeni duruma ve eğitim durumuna göre anlamlı bir farklılaşma göstermediği, aylık gelire ve mesleğe göre anlamlı bir farklılaşma gösterdiği tespit edilmiştir. Son olarak vatandaşların akıllı uygulamalara yönelik memnuniyet değerlendirmeleri akıllı uygulama türüne göre anlamlı bir farklılaşma olduğu tespit edilmiştir [15].

3. Materyal ve metot

Bu araştırma, Bandırma ilçesinde yaşayan vatandaşların Bandırma Belediyesi'nin sunduğu ulaşım hizmetinden memnuniyet düzeylerini ve memnuniyete etki eden faktörleri belirlemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma tarama modellerinden genel tarama modeline göre yürütülmüştür. Bandırma ilçesinin 2021 yılı verilerine göre toplam nüfusu 161 894 kişidir [21]. Bu bağlamda evren büyüklüğüne karşılık gelen örneklem büyüklüğü 40.000 kişiyi temsil etmede minimum 387 kişi olması dikkate alınarak toplam 401 vatandaşla olasılığa dayalı olmayan örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme yöntemi ile veriler anket tekniği ile yüz yüze olarak toplanmıştır [22].

Veri toplama aracı olan anket iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ankete cevap veren bireylere ait demografik bilgiler yer alırken, ikinci bölümde ulaşım hizmetleriyle ilgili sorular yer almaktadır. Birinci bölümde katılımcılara ait bilgiler çoktan seçmeli olmak üzere hazırlanmıştır. Anketin ikinci bölümünde ulaşım hizmetini değerlendirmeye yönelik sorular araştırmacılar tarafından literatür araştırmasıyla oluşturulmuştur. Maddeler "çok önemli, hiç önemli değil" aralığında belirtilen 5'li Likert ölçeğinde 42 adet ifadeden oluşmaktadır.

Verilerin analizi yapılırken 401 adet anketin hepsi analize katılmamıştır. Anketlerde boş ve cevaplanmayan maddelerin olması nedeniyle analizden çıkarılmış ve geriye kalan 387 adet anketin istatistiksel analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde tanımsal istatistikler, faktör analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır.

3.1. Faktör Analizi

Açımlayıcı faktör analizi (AFA) /Exploratory Factor Analysis (EFA) bir veri setindeki gizli yapıları anlamak ve gözlem değişkenlerinin bu yapıları nasıl etkilediğini incelemek için kullanılan çok değişkenli veri analizi yöntemidir. AFA'nın temel amacı, bir dizi gözlem değişkenini daha az sayıda faktörle özetlemektir. Bu faktörler, veri setini temsil eder ve veri setindeki gözlem değişkenlerinin arkasındaki gizli yapıları ifade eder. Ayrıca büyük ve karmaşık veri setlerinin anlaşılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırır. AFA, faktörlerin sayısı hakkında bir bilginin olmadığı durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Değişkenleri temsil eden ifadelerin kaç boyutta ele alınacağı analiz öncesinde bilinmediğinden analiz görülmeyen boyutların ortaya çıkarılması adına önemli bir işlev görmektedir [16-20].

3.2 Verilerin Değerlendirilmesi

Yapılan bu çalışmada “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması belirtilen tüm kurallara uyulmuştur. Katılımcılara araştırma konusunda bilgi verilmiş, verilerin bilimsel araştırma için kullanılacağı belirtilmiş, yazılı ve sözlü onamları alınmıştır. Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Etik Kurul’undan gerekli izinler alındıktan sonra Bandırma’da yaşayan ve toplu taşıma hizmetini kullananlara anketi cevaplamak isteyenlerle gerçekleştirilmiştir.

Ankete katılım sağlayıp cevap verenlere ait tanımlayıcı bilgiler aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Katılımcılara ait tanımlayıcı istatistikler

Cinsiyet	n	%
Kadın	185	47,8
Erkek	202	52,1
Yaş	n	%
18-24	93	24,0
25-31	96	24,8
32-38	76	19,6
39-45	59	15,2
46 ve üstü	63	16,3
Eğitim	n	%
Okur-yazar	9	2,3
İlkokul	24	6,2
Ortaokul	28	7,2
Lise	115	29,7
Üniversite	211	54,5
Bandırma’da ulaşım için özel yollar gerekliliği	n	%
Gereklidir	258	66,7
Fikrim yok	102	26,3
Gereksizdir	27	6,9

Tablo 1. Devamı

Özel araç durumu	n	%
Evet	138	35,6
Hayır	249	64,3
Bandırma'da ikamet edilen yıl	n	%
1 yıldan az	28	7,3
1-4 yıl	57	14,7
5-10 yıl	89	22,9
10 yıldan fazla	213	55,0
Ulaşım türü tercihi	n	%
Toplu taşıma	272	70,2
Yaya	41	10,5
Taksi	19	4,9
Motor/Bisiklet	12	3,1
Diğer	43	11,1
Toplu taşıma araçlarını kullanım sıklığı	n	%
Her gün	143	36,9
Haftada bir gün	52	13,4
Haftada 2-3 gün	108	27,9
Ayda en az bir gün	84	21,7
Toplu taşıma araçlarını kullanım amacı	n	%
İş	155	40,5
Okul	50	12,9
Hobi	15	3,8
Sosyalleşme	21	5,4
Hastane	27	6,9
Alışveriş	36	9,3
Diğer	83	21,4
Evden toplu taşıma durağına varış süresi	n	%
0-3 dk	84	21,7
3-5 dk	145	37,5
5-10 dk	99	25,6
10 dakikadan fazla	58	15,0
Toplu taşıma için dolmuş/otobüs	n	%
Dolmuş	116	29,9
Otobüs	271	70,0
Genel memnuniyet durumu	n	%
Memnunum	33	8,5
Kararsızım	132	34,3

Tablo 1. devamı

Memnun değilim	219	57,0
Meslek	n	%
Memur	62	16,0
İşçi	111	28,6
Serbest Meslek	77	19,8
Öğrenci	51	13,1
Ev Hanımı	28	7,2
Esnaf	37	9,5
Emekli	21	5,4
Bandırma kart türü	n	%
Tam Kart	290	74,9
65 yaş üstü kart	6	1,5
Öğrenci Kartı	39	10,0
Serbest	37	9,5
Temassız kredi kartı	15	3,8
Toplu taşımada yer bulabilme durumu	n	%
Evet	29	7,4
Hayır	231	59,6
Bazen	127	32,8

Tablo 1'e göre araştırmaya katılanların %47,8'i kadın, %52,1'i erkektir. Cevaplayanların yaş gruplarına göre dağılımında çoğunluk cevabın 25-31 yaş aralığı yani genç- yetişkin grubunun verdiğini görülmektedir. Eğitim kategorisine baktığımızda %54,5'i üniversite mezunu olduğunu ve anketi cevaplayan sınıfın eğitim seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Toplu taşımayı meslek grubundan en çok işçi grubunun buna takiben serbest meslek ve öğrenci grubunun tercih ettiği görülmektedir. Cevaplayanların çoğunluğunun Bandırma'da 10 yıldan fazla ikamet ettiği bununla birlikte ele alınan örneklemin toplu taşımayı çoğunlukla işe gitmek için kullandıklarını ifade etmişlerdir. Bunun yanı sıra elde ettiğimiz tabloya baktığımızda bireylerin evlerinden duraklara varış süresinin 3-5 dakika arasında değiştiği görülmektedir. Çoğunluğunun yani %66,7'inin Bandırma ilçesi için mutlaka özel yolların gerekliliğini savunmuştur. %70' lik kesiminin ulaşım aracı olarak toplu taşımayı tercih ettiği ve her gün kullandığı görülmüştür. Öğrenci yoğunluklu bir ilçe olmasına rağmen en çok kullanılan kart türünün tam kart olduğu görülmektedir. Ulaşıma uygulanan fiyatlandırmanın %86,2'lik birey tarafından pahalı olarak değerlendirilmiştir. Katılımcıların çoğunlukla tercih ettiği toplu taşıma türü olan otobüslerde yer bulabilme durumunu sordüğümüzde çoğunluk cevabın 'hayır' olduğunu belirtilmiştir. Son olarak katılımcıların genel memnuniyet oranları incelendiğinde %57' si "memnun değilim" olarak ifade etmiştir.

Tablo 2. En çok tercih edilen otobüs hatları

Güzergah	n	%
Otogar	55	13,8
Hastane-Fakülte	73	18,3
Okullar	2	0,5
Levent-Hastane	9	2,3
Toki-Hastane	12	3,0
100.yıl Küme Evler	6	1,5
Banvit-Ticaret	2	0,5
Konaktur	63	15,8
Ayyıldız-Yeni Mahalle	1	0,3
Edincik	3	0,8
Toki	44	11,0
Ayyıldız	10	2,5
Levent	21	5,3
Yeni Mahalle	12	3,0
Paşabayır	22	5,5
Sanayi	29	7,2
Livatya	2	0,5
Ayyıldız	1	0,3

Tablo 2'ye göre en çok tercih edilen toplu taşıma hattı %18,3 olarak 'Hastane- Fakülte' hattıdır. Hastane, üniversite ve liseler vadisi yakın konumlarda bulunması bu hattın tercih olasılığını yükseltmektedir. İkinci sırada %15,8'lik oran ile 'Konaktur' hattı ve %13,8 'Otogar' hattı olmuştur.

Anketin ikinci bölümünde yer alan soruların analizinde ilk olarak faktör analizine uygunluk araştırılmıştır. Buna göre Tablo 3'de KMO Barlett 's testine ait veriler yer almaktadır.

Tablo 3. KMO ve Bartlett's testi

Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)		
Örneklemin Yeterliliği Ölçütü		0,928
	Yaklaşık Ki-Kare	10817.27
Barlett Küresellik Sınaması	Serbestlik derecesi (df)	861
	Anlamlılık (p)	0,001

Örneklem uygunluğu ve faktörlenebilirlik seviyeleri için KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) örneklem uygunluğu testi ve Bartlett's testi yapılmış, bu testte anlam düzeyi $p < 0,001$ seviyesine göre ölçülmüş ve örneklemin faktör analizine uygunluğu tespit edilmiştir.

Tablo 4. Açıklanan toplam varyans

Faktör Sayısı	Başlangıç Özdeğerleri			Çıkarılmış Kareli Yüklerin Toplamı			Döndürülmüş Kareli Yüklerin Toplamı		
	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)	Toplam	Varyans (%)	Birikimli (%)
1	12.800	30.477	30.477	12.800	30.477	30.477	12.699	30.237	30.237
2	6.279	14.950	45.427	6.279	14.950	45.427	5.662	13.481	43.718
3	3.559	8.473	53.900	3.559	8.473	53.900	4.276	10.182	53.900
4	1.454	3.463	57.363						
5	1.244	2.963	60.326						
6	1.231	2.932	63.258						
7	1.035	2.464	65.721						
8	0.947	2.255	67.976						
9	0.864	2.058	70.034						
10	0.802	1.909	71.943						
11	0.737	1.754	73.697						
12	0.655	1.560	75.258						
13	0.651	1.549	76.807						
14	0.603	1.435	78.242						
15	0.579	1.379	79.621						
16	0.539	1.284	80.905						
17	0.513	1.221	82.126						
18	0.501	1.193	83.319						
19	0.469	1.116	84.435						
20	0.466	1.109	85.543						
21	0.428	1.019	86.563						
22	0.409	0.974	87.537						
23	0.385	0.918	88.454						
24	0.375	0.893	89.348						
25	0.359	0.854	90.202						
26	0.351	0.837	91.039						
27	0.333	0.793	91.831						
28	0.328	0.780	92.611						
29	0.311	0.740	93.351						
30	0.305	0.726	94.076						
31	0.268	0.639	94.716						
32	0.264	0.628	95.343						
33	0.259	0.616	95.959						
34	0.246	0.585	96.545						
35	0.233	0.556	97.100						
36	0.211	0.503	97.603						
37	0.205	0.488	98.091						
38	0.191	0.454	98.545						
39	0.171	0.407	98.952						
40	0.159	0.379	99.331						
41	0.144	0.342	99.673						
42	0.137	0.327	100.000						

Tablo 4'de her bir faktörün toplam faktörü ne kadar etkilediğini göstermektedir. Özdeğer, her bir faktör tarafından açıklanan varyansın oranının hesaplanmasında ve faktör sayısına karar vermede kullanılan bir katsayıdır. Özdeğer yükseldikçe, faktörün açıkladığı varyans da yükselmektedir. Analizde üç faktör elde edilmiştir ve bu faktörler toplam varyansın %53,90'nını açıklamaktadır. İlk faktör (özdeğeri 12,80) varyansın %30,47'sini açıklarken, ikinci faktör (özdeğeri 6,28) varyansın %14,95'ini, üçüncü faktör (özdeğeri 3,56) varyansın %8,47'sini açıklamaktadır.

Tablo 5. Döndürülmüş faktör yükleri

	F1	F2	F3
A7	0.844		
A12	0.832		
A9	0.816		
A14	0.813		
A16	0.804		
A6	0.795		
A20	0.795		
A19	0.791		
A11	0.787		
A4	0.781		
A17	0.774		
A10	0.773		
A3	0.771		
A2	0.764		
A21	0.763		
A18	0.754		
A13	0.750		
A8	0.747		
A1	0.740		
A15	0.704		
A5	0.669		
A26		0.768	
A31		0.760	
A25		0.755	
A32		0.746	
A30		0.744	
A27		0.730	
A24		0.690	
A28		0.671	
A25		0.651	
A23		0.608	
A22		0.567	
A40			0.694
A36			0.691

Tablo 5. devamı

A37	0.675
A38	0.674
A39	0.660
A34	0.652
A41	0.613
A35	0.603
A42	0.573
A33	0.502

Tablo 5' de görülen dönüşümlü faktör yüklerine göre, ölçek 42 sorudan ve 3 faktörden oluşmaktadır. Döndürülmüş faktör yükleri ve faktörlerdeki soruların taşıdıkları anlam dikkate alınarak elde edilen faktörlere sırasıyla;

F1: Toplu Ulaşım Çalışanların Değerlendirilmesi

F2: Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi

F3: Toplu Ulaşım Erişim

isimleri verilmiştir. Oluşan faktörler ve ilgili durumlar Tablo 5'te görülmektedir. Faktör analizi sonucunda her bir bireyin verdiği cevaplar için faktör skorları hesaplanmıştır. Faktör skorları, birinci boyut olan Toplu Ulaşım Çalışanların Değerlendirilmesi için 0.844 ile 0.669, ikinci faktör olan Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi 0.768 ile 0.567, üçüncü faktör olan Toplu Ulaşım Erişim ve bilgilendirilme için 0.694 ile 0.502 arasındaki değerlere sahiptir.

Elde edilen faktör skorları kullanılarak, bağımlı değişken anketin genel memnuniyet durumunu belirlemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen regresyon modeli denklem 1'de verilmektedir. Denklemde bağımlı değişken (y) kullanıcıların toplu ulaşım hizmetlerinden genel memnuniyeti durumunu, ilk bağımlı değişken (x1) Toplu Ulaşım Çalışanların Değerlendirilmesi, ikinci bağımlı değişken (x2) de Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi, üçüncü bağımlı değişken (x3) de toplu ulaşım erişimi göstermektedir. Çoklu doğrusal regresyon analizinin sonuçları Tablo 6'da verilmektedir.

F1: Toplu Ulaşım Çalışanların Değerlendirilmesi

F2: Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi

F3: Toplu Ulaşım Erişim

Tablo 6. Çoklu regresyon modeli

Bağımsız Değişkenler	Standartlaştırılmış regresyon katsayıları	t	p
F1	0.044	9.407	0.001
F2	0.889	188.382	0.001
F3	-0.113	-23.844	0.001

Regresyon modelinin genel anlamlılığının sınındığı F değeri 10892.69 ve p=0.001 olarak hesaplanan F istatistiği anlamlıdır. Geliştirilen modelin R² değeri 0.898'dür.

$$y = 0.044x_1 + 0.889x_2 - 0.113x_3 + 2.393 \quad (1)$$

Geliştirilen regresyon modeline göre, F2 yani Toplu Ulaşım Hizmet Kalitesi değişkenindeki 1 birimlik artış, genel memnuniyeti 0.889 birim arttırırken, F1 Toplu Ulaşım Çalışanların Değerlendirilmesi değişkenindeki 1 birimlik artış, genel memnuniyeti 0.044 birim arttırmaktadır. Toplu ulaşım erişimde 1 birimlik artış, genel memnuniyeti 0.113 birim azaltmaktadır. Bu da sistem kullanıcılarının toplu ulaşımında hizmet kalitesinin değerlendirilmesine daha büyük önem verdiklerini göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma, Balıkesir ili Bandırma ilçesindeki yaşayan toplu taşıma kullananların memnuniyet düzeyleri araştırılmıştır. Analizin sonuçları, genel memnuniyet düzeyinin ortalamasının altında olduğunu göstermektedir. Bireylerin 5 puan üzerinden ortalama 2,38'lik bir genel memnuniyet düzeyine sahip olmaları, ulaşım hizmetlerinin yeterli olmadığını ve kullanıcıların beklentilerini karşılamadığı analiz sonucunda elde edilmiştir.

Anket sonuçlarına aşağıdaki sonuçlar ve öneriler;

- Otobüs sefer sayısı yeterliliği: Kullanıcıların en çok şikâyet ettikleri konulardan biridir. Otobüs sefer sayısının yetersiz olması, otobüslerin aşırı dolu olmasına, bekleme sürelerinin uzamasına ve ulaşım hizmetlerinin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüs sefer sayısını artırması, sefer aralıklarını kısaltması ve sefer saatlerini güncel olarak yolculara duyurması gerekmektedir. Bu şekilde, otobüs doluluk oranları azalacak, bekleme süreleri kısaltacak ve ulaşım hizmetlerinin kalitesi artacaktır.
- Otobüs bekleme süresi: Kullanıcıların memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Otobüs bekleme süresinin uzun olması, yolcuların zaman kaybetmesine, ulaşmak istedikleri yere geç kalmalarına ve ulaşım hizmetlerinden memnun kalmamalarına neden olmaktadır. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüs bekleme süresini azaltması, otobüslerin zamanında gelmesini sağlaması ve olası gecikmeleri yolculara bildirmesi gerekmektedir. Bu şekilde, yolcular zamanı daha verimli kullanılacak, ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi artacaktır.
- Otobüs doluluk oranları: Bu madde, kullanıcıların en hoşlanmadıkları konulardan biridir. Otobüs doluluk oranlarının yüksek olması, yolcuların rahat bir şekilde seyahat edememelerine, otobüslerin güvenliğinin azalmasına ve ulaşım hizmetlerinin kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüs doluluk oranlarını düşürmesi, otobüs sefer sayısını artırması, otobüs kapasitesini artırması ve otobüslerin doluluk durumunu yolculara göstermesi gerekmektedir. Bu şekilde, yolcuların rahat ve güvenli bir şekilde seyahat etmeleri sağlanacak, ulaşım hizmetlerinin kalitesi yükselecektir.
- Otobüslerin güvenliği: Bu madde, kullanıcıların memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Otobüslerin güvenliği hem yolcuların hem de sürücülerin can güvenliği açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüslerin güvenliğini artırması, otobüslerin bakımını düzenli olarak yapması, otobüslerin teknik donanımını iyileştirmesi ve otobüs sürücülerinin eğitimini sağlaması gerekmektedir. Bu şekilde, otobüslerin kaza riski azalacak, yolcuların ve sürücülerin can güvenliği korunacak ve ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi artacaktır.

- Duraklarda oturma ve bekleme alanları: Bu madde, kullanıcıların en az memnun oldukları konulardan biridir. Duraklarda oturma ve bekleme alanlarının yetersiz olması, yolcuların konforunu ve rahatlığını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin duraklarda oturma ve bekleme alanlarını artırması, durakların temizliğini ve bakımını yapması, duraklara otobüs sefer saatlerini ve doluluk durumunu gösteren ekranlar yerleştirmesi gerekmektedir. Bu şekilde, yolcuların konforu ve rahatlığı artacak, ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi yükselecektir.
- Otobüslerin temizlik durumu: Bu madde, kullanıcıların memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Otobüslerin temizlik durumu hem yolcuların hem de sürücülerin sağlığı açısından önemlidir. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüslerin temizlik durumunu iyileştirmesi, otobüslerin düzenli olarak dezenfekte edilmesi, otobüslerin iç ve dış temizliğinin yapılması ve otobüslerde çöp kutusu bulundurulması gerekmektedir. Bu şekilde, otobüslerin hijyen seviyesi yükselecek, yolcuların ve sürücülerin sağlığı korunacak ve ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi artacaktır.
- Bandırma ulaşım personelinin tutumu ve davranışları: Bu madde, kullanıcıların memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Bandırma ulaşım personelinin tutumu ve davranışları, yolcuların ulaşım hizmetlerine olan güvenini ve saygısını belirlemektedir. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin personelinin tutumu ve davranışlarını iyileştirmesi, personelin eğitimini sağlaması, personelin yolculara karşı kibar, saygılı ve yardımsever olmasını sağlaması gerekmektedir. Bu şekilde, yolcuların ulaşım hizmetlerine olan güveni ve saygısı artacak, ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi yükselecektir.
- Otobüs sürücülerinin yolcularla iletişimi: Bu madde, kullanıcıların memnuniyet düzeyini etkileyen önemli bir faktördür. Otobüs sürücülerinin yolcularla iletişimi, yolcuların ulaşım hizmetlerine olan güvenini ve saygısını belirlemektedir. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin otobüs sürücülerinin yolcularla iletişimini iyileştirmesi, otobüs sürücülerinin eğitimini sağlaması, otobüs sürücülerinin yolculara karşı kibar, saygılı ve yardımsever olmasını sağlaması gerekmektedir. Bu şekilde, yolcuların ulaşım hizmetlerine olan güveni ve saygısı artacak, ulaşım hizmetlerinden memnuniyet düzeyi yükselecektir.
- Bandırma ulaşım şirketine şikâyet ve önerilerin iletilmesi: Bu madde, kullanıcıların en az memnun oldukları konulardan biridir. Bandırma ulaşım şirketine şikâyet ve önerilerin iletilmesi konusunda yetersiz olması, yolcuların iletişime geçmek için bir iletişim noktası yetersizliği yolcuların ulaşım hizmetlerinden memnun kalmamalarına ve sorunlarının çözüme kavuşturulmamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, Bandırma Ulaşım A.Ş.'nin şikâyet ve önerilerini iletilme konusunda etkin olması, şikâyet ve önerileri almak için farklı kanallar kullanması, şikâyet ve önerileri zamanında cevaplaması ve şikâyet ve önerileri çözüme kavuşturması memnuniyeti de artıracaktır.

Bu önerilerin kent içi toplu taşıma hizmetlerinin geliştirilmesi ve kullanıcı memnuniyetinin artırılması amacıyla Bandırma ulaşım şirketine rehberlik edeceği düşünülmektedir. Ayrıca konuyla ilgili araştırma ve çalışma faaliyetlerinin belli aralıklarla tekrar edilmesi, farklı bölgelerde benzer anketlerin uygulanması ve ulaşım hizmetlerinin daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesi bu alandaki sorunların giderilmesine katkı sağlayacağı önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] A. Dalgiç and H. Şenkayas, "Hizmet Sektöründe Hizmet Kalitesinin Ölçümü ve Hizmet Kalitesini Etkileyen Faktörler," 2013.
- [2] G. A. Alçura and M. Gürsoy, "Kentsel Planlamada Toplu Taşımanın Yeri ve Kalite," 2018. Accessed: May 26, 2020. [Online]. Available: <http://www.iett.gov.tr/metin.php?no=38>
- [3] K. Çati and S. Yıldız, "Şehirlerarası Otobüs İletmelerinde Hizmet Kalitesinin Ölçülmesi ve Bir Uygulama.," 2005.
- [4] V. Tubitak, "Ulaştırma Ve Turizm Paneli," 2003.
- [5] F. Koç, M. Günalan, V. Özbek, and B. Çınar, "Şehirlerarası Otobüs Firmalarının Ulaşılabilirliğinin Memnuniyet, Firma İtibarı Ve Algılanan Değer Üzerindeki Etkisi," vol. 3, no. 1, pp. 39–60, 2015, doi: 10.18825/irem.08272.
- [6] R. Tekin and M. Kılıç, "Kampüs İçi Ulaşımında Alternatif Seçimler: Karabük Üniversitesi Örneği1.," 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v2i3.78>.
- [7] K. Çati, "Ulaşım Hizmetlerinde Hizmet Kalitesi Ve Bir Uygulama," 2003.
- [8] F. Akyıldız, "Belediye Hizmetleri Ve Vatandaş Memnuniyeti: Uşak Belediyesi Örneği Municipal Services And The Citizens Satisfaction: The Case Of Usak Municipality.," 2012.
- [9] R. Luke and G. Heyns, "Public transport policy and performance: The results of a South African public opinion poll," J. Transp. Supply Chain Manag., vol. 7, no. 1, May 2013, doi: 10.4102/jtscm.v7i1.96.
- [10] Özkan, B. & Alp, S. (2020). Toplu Ulaşımında Hizmet Kalitesi: İstanbul'da Yolcu Memnuniyeti Araştırması. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3 (2), 94-111. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/jitsa/issue/57732/758636>
- [11] S. Güner, "Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems," J. Transp. Logist., Nov. 2017, doi: 10.22532/jtl.358727.
- [12] Ç. Aliçavuşoğlu and A. Gürbüz /, "Yerel Ulaşım Hizmetlerinde Hizmet Kalite Boyutlarının Değerlendirilmesi," PESA Int. J. Soc. Stud., vol. 3, p. 4, 2017, doi: 10.25272/j.2149-8385.2017.3.4.07.
- [13] I. Gökaşar, B. Buran, and S. DüNDAR, "Kent içi otobüs memnuniyet anketi verileri ve faktör analizinden yararlanılarak otobüslerin hizmet kalitesinin modellenmesi: İETT örneği," vol. 24, no. 6, pp. 1079–1086, 2018, doi: 10.5505/pajes.2017.48278.
- [14] E. Echaniz, R. Cordera, A. Rodriguez, S. Nogues, P. Coppola, and L. Dell'Olio, "Spatial and Temporal Variation of User Satisfaction in Public Transport Systems," Transp. Policy, vol. 117, pp. 88–97, 2022, doi: 10.1016/j.tranpol.2022.01.003.
- [15] H. M. Elmacı, "İstanbul Büyükşehir Belediyesinin Akıllı Ulaşım Projelerine Yönelik Vatandaş Memnuniyet Değerlendirmesi," İbn Haldun Üniversitesi, 2023. [Online]. Available: <https://openaccess.ihu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12154/2356>
- [16] S. Büyüköztürk, "Faktör Analizi: Temel Kavramlar Ve Ölçek Gelistirmede Kullanımı.," 2002.
- [17] A. Okursoy et al., "Açımlayıcı Faktör Analizi Ve Üniversite Yemekhanesinde Müşteri Memnuniyeti Üzerinde Etkili Olan Boyutların Belirlenmesi Üzerine Bir Uygulama," 2014.
- [18] B. C. Altay and A. Okumuş, "Öz Mobil Uygulamaların Şehir İçi Toplu Taşımada Kullanımı ve Toplu Taşıma Kullanıcıları Tarafından Kabulü," 2019.
- [19] İstatistik Çözümleri, "Açımlayıcı Faktör Analizi." <https://www.statisticssolutions.com/factor-analysis-sem-exploratory-factor-analysis/> (accessed May 26, 2020).

- [20] M. S. Bartlett, Tests of Significance in Factor Analysis. University of Manchester, 1950.
doi: <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1950.tb00285.x>.
- 21] Bandırma Beldiyesi, <https://www.bandirma.bel.tr/sayfalar/bandirma-nufus-yapisi>(accessed jun 26, 2022).
- [22] Ural, A. & Kılıç, İ. (2006). "Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS ile Veri Analizi", Ankara: Detay Yayınevi.

Uzay enkazı: Tehditleri ve Önleme önlemleri

Ahmad Rahimov^{1*}, Emrah Dönmez², Caner Pense³

²Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

³Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

*ahmadrahimov@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0001-9258-7707, 0000-0003-3345-8344, 0000-0003-2187-2193

Özet

Bu çalışma, uzay enkazının tehlikelerini ve bu tehlikelerle başa çıkma yöntemlerini incelemektedir. Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte uzaydaki enkaz miktarı endişe verici bir şekilde artmaktadır. Uzay enkazı, kullanılmayan uydular, fırlatma operasyonlarından geriye kalan parçalar ve çarpışmalar sonucu oluşan kırıntılar gibi unsurlardan oluşan tehlikeli bir sorundur. Bu çalışmada, uzay enkazının oluşumunu etkileyen faktörler ve enkazın yıllar içindeki evrimi incelenmektedir. Ayrıca, uzay enkazının sebep olduğu tehlikeler ayrıntılı bir şekilde analiz edilmekte ve mevcut önleme yöntemleri araştırılmaktadır. Uzay enkazının çarpışma riski, değerli uyduların ve uzay araçlarının zarar görmesine, iletişim kesintilerine ve uzay araştırmalarının sekteye uğramasına neden olabilir. Bu nedenle, uzay ajansları ve uzay endüstrisi bu tehlikelerle başa çıkmak için stratejiler geliştirmekte, teknolojik yenilikler üzerinde çalışmaktadır. Çalışmada, uzay enkazının oluşumunu etkileyen faktörler ve enkazın yıllar içindeki evrimi, oluşum nedenleri, riskleri yönetmek için geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan teknolojiler analiz edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Uzay ve K-AUS, Uzayda Ulaşım Güvenliği, Uzay AUS Teknolojileri

1. Giriş

Uzay teknolojileri, insanlığın gelişimine ve değişimine büyük katkılar sağlamıştır. 1957 yılında Sovyetler Birliği'nin Sputnik I uydusunu yörüngeye fırlatmasıyla başlayan uzay serüveni, bugün binlerce uydu, uzay aracı ve astronotun Dünya'nın çevresinde dolaştığı bir noktaya ulaşmıştır [1]. Ancak bu serüvenin kendisiyle birlikte getirdiği bir problem de vardır: Uzay enkazı. Uzay enkazı, insanlar tarafından yaratılan ancak artık herhangi bir yararlı amaca hizmet etmeyen Dünya'nın çevresindeki yörüngede bulunan nesnelere topluluğudur [2]. Bu nesnelere, harcanan roket aşamaları, işlevlerini yitirmiş uydular, patlama ve çarpışmalar sonucu oluşan parçacıklar ve diğer küçük atıklardan oluşur. Bu nesnelere, yörüngeleri, uzay araçlarının uçuş yönleri ile örtüşme olasılığı olduğu için uzay enkazları genellikle olası bir çarpışma riski taşırlar. Bu risk, uzaydaki faaliyetleri tehlikeye atmakta ve gelecekteki uzay misyonlarını imkânsız hale getirebilmektedir [2].

Uzay enkazı problemine yönelik ilk çalışmalar 1950'li yıllarda başlamıştır. Plütoyu keşfeden Clyde Tombaugh, ilk uzay gözlem sistemleriyle Alçak Yer Yörüngesini (LEO) gözlemlemeye başlamış ve doğal enkazların uzaydaki olabilecek herhangi bir uydu için potansiyel tehdit olmadığı sonucuna varmıştır [3]. Ancak 1979 yılında NASA'nın bilim insanı Donald J. Kessler yeni bir teori ortaya koymuştur. Bu teoriye bugün "Kessler Sendromu" denir. Donald Kessler, uzayda aktif olmayan uyduların çarpışarak daha fazla enkaz yaratacağını ve bunun zincirleme

reaksiyon şeklinde daha da artacağını öngörmüştür. Bu zincirleme reaksiyon sonucu gelecekte uzay misyonları imkânsız hale gelebileceği sonucuna varmıştır [4].

Kessler teorisinin tahminleri, yılların geçmesiyle birlikte giderek daha fazla doğrulanmaktadır. NASA ve diğer uzay ajansları, Kessler teorisinin varsayımlarını ve sonuçlarını destekleyen veriler elde etmektedirler. [5] Örneğin, 2009 yılında kullanım dışı olan bir Rus uydusu aktif bir ABD İridyum ticari uydusu ile çarpışmış ve onu yok etmiştir. Bu kaza sonucunda uzay enkazlarının arasına 2000 parça daha eklenmiştir. Ayrıca, uzaydaki çöp parçalarının sayısının her yıl arttığı ve bunun da çarpışma olasılığını yükselttiği gözlemlenmiştir.

Bu problem, medeniyetin gelişimine yönelik önemli bir soruyu da beraberinde getirmektedir: Bu problem nasıl ilerlerse ilerlesin, karşılaşılabileceğimiz potansiyel riskler nelerdir?

Bu çalışmada uzay enkazının evrimi, potansiyel riskleri, tehditleri ve bu tehditleri önlemek için geliştirilen veya geliştirilebilecek teknolojilerden bahsedilmiştir. Bu çalışma, uzay enkazı probleminin yönelik uzay ajanslarının bu günkü ve gelecekte yapılabilecek çalışmalarını, uzay enkazıyla nasıl mücadele edildiğini sunmayı amaçlamaktadır.

1.1 Uzay enkazının Akıllı Ulaşım Sistemleri açısından önemi

Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (AUS) ve Kooperatif AUS sistemlerinin gelişimi, ulaşım sektörünün geleceğini şekillendiren önemli bir unsur haline gelmiştir. Bu gelişmeler, uzay tabanlı iletişim teknolojilerinin araçlarla ve altyapıyla daha yakından entegre edilmesiyle birlikte ortaya çıkmaktadır. Geleneksel karasal iletişim altyapısının bazı durumlarda yetersiz kaldığı, özellikle kentsel dış bölgelerde kara, deniz ve hava taşımacılığının en yaygın modlarına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu nedenle, uzay tabanlı iletişim çözümleri bu bağlamda büyük bir öneme sahiptir.

Uzay tabanlı iletişim teknolojileri, karasal iletişimin ulaşamadığı uzak bölgelerde güvenilir iletişim sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak, bu çözümlerin sürdürülebilirliği ve maliyeti, özellikle geleneksel uydu operasyonlarıyla karşılaştırıldığında, Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) gibi daha düşük yörüngelerde yoğunlaşma eğilimindedir. LEO, uzaya açılan en alt yörünge olarak bilinir ve iletişim uydularının bu yörüngede konumlandırılması, daha düşük gecikme süreleri ve daha yüksek bant genişlikleri sunar.

Ancak, LEO yörüngesindeki bu yoğunlaşma, uzay enkazı oluşturma potansiyelini artırır. Uyduların bu yörüngede sıklıkla hareket etmeleri, kasıtsız çarpışmalar ve kazaların daha sık görülme olasılığını artırır. Bu gibi durumlarda, uydular parçalanabilir veya tamamen uzay enkazına dönüşebilir. Uzay enkazlarının bu yörüngede kontrol altına alınması ve izlenmesi zor olabilir.

Bu tür uzay enkazlarının kontrolsüz bir şekilde dolaşması, diğer uydular ve bağlı hizmetler için ciddi tehditler oluşturabilir. Uyduların zarar görmesi veya iletişimin kesilmesi, ulaşım sistemleri, hava trafik kontrolü, denizcilik ve diğer sektörlerde ağır sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, uzay enkazı sorununun ele alınması ve LEO yörüngesindeki uyduların güvenli bir şekilde yönetilmesi büyük bir öneme sahiptir.

Sonuç olarak, uzay tabanlı iletişim teknolojilerinin gelişimi, ulaşım sektörünün verimliliğini artırabilir, ancak bu teknolojilerin yoğunlaştığı LEO yörüngesindeki uzay enkazı sorununa dikkat etmek gereklidir. Bu sorunu kontrol altına almak ve uzayda güvenli bir iletişim altyapısını sürdürmek için bilimsel, teknolojik ve yönetimsel çözümler geliştirmek hayati bir öneme sahiptir.

2. Metodoloji

Bu teorik araştırma, uzay enkazının tehditlerini ve potansiyel önleme yöntemlerini incelemek amacıyla literatür incelemesi ve uzay ajanslarının verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde Uzay enkazı, uzay çöpleri ve uzayın güvenliği ile ilgili yayınlanmış akademik makaleler, raporlar ve veri tabanları, NASA, ESA ve diğer uzay ajanslarının açık kaynak verileri, uzay enkazının izlenmesi ve uzay güvenliği konularındaki verileri, uzay enkazının izlenmesi, sınıflandırılması ve potansiyel önleme yöntemleri dikkate değer miktarda analiz edilmiş ve analiz sonucunda sonuçlar çıkarılmıştır.

3. Uzay enkazının oluşturduğu tehditler

Uzay enkazı günümüzde uzay faaliyetleri için en büyük engellerden biridir ve bu problem zamanla daha da büyüyor. Bu problemle birlikte problemin tehditleri de artıyor. Çalışmanın bu bölümünde uzay enkazının uzay endüstrisine, insanlığa, teknolojik, bilimsel gelişimlere olan olumsuz etkisi ele alınacak, bu günkü ve gelecekteki etkileri karşılaştırılacaktır.

4. Uzay enkazının astronotların güvenliğine etkisi

Sık sık uzayda bazı uzay araçlarında teknik problemler veya arızalar çıkabiliyor. Bu zaman bu problemleri halletmek için astronotlar açık uzaya çıkarak bu problemi halletmeye çalışırlar. Bu zaman ortalama saatte 17.500 mil hızla hareket eden uzay enkazı astronotlar için gerçek bir tehdit oluşturabiliyor. 2013 yapımı "The Gravity" filminin ilk sahnesinde astronotlar için oluşan tehdidin gerçekçi bir simülasyonunu görebiliriz [6]. Ayrıca NASA, 30 Kasım 2021'de uzay enkazı tehlikesi sebebiyle planlanan bir uzay yürüyüşünü ertelediğini bildirdi [7].

5. Uzay enkazının yer yüzüne olan etkileri: Canlılara ve mal varlığına verdiği zararlar ve atmosferdeki değişimler

Uzay enkazı yerdeki astronotlara tehdit olabileceği gibi, yerdeki insanlar üzerine de tehdit edebilir. Bazı enkazlar atmosfere yeniden girerler ve bu girişte buharlaşırlar. Bazılarıysa boyutları nedeniyle yeniden giriş sırasında yanmazlar ve direk yere iniş yaparlar. Eğer atmosfere giriş kontrollü şekilde yapılırsa, bu zaman uzay ajanslarının okyanuslarda belirlediği yerlere düşer, ama kontrolsüzce yapılırsa, bu zaman yer üzerindeki herhangi yere iniş yapabilir. Bu düşük olasılıktır, fakat göz ardı edilemez. Mesela Rusya'nın "Cosmos954" uydusu Kanada üzerinde atmosfere yeniden giriş yaptı ve enkazı Kanada üzerinde yayıldı [8]. Aynı zamanda mezosferden yeniden giriş yapan uzay enkazları, termal azot oksitler (NOx) oluşturur. Bununla da dolayı yolla olsa bile küresel ısınma problemine de katkıda bulunur [9].

6. Uydu operasyonlarına olan tehditler ve problemin büyümesine olan katkısı

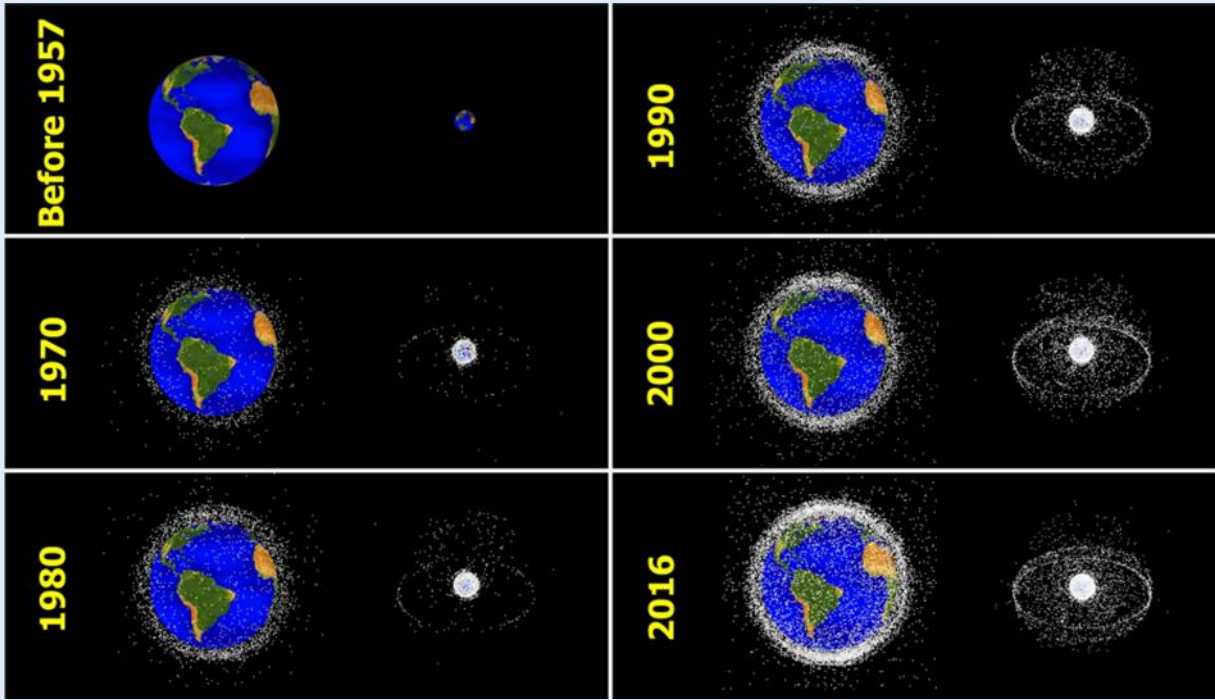
Saatte 15.700 mil hızla hareket eden bir nesne büyük kinetik enerjiye sahiptir. Bunun sonucunda karşısına çıkan her nesne için ölümcül tehdit oluşturabilir. Bu nesne, aktif uydular ve artık faaliyet göstermeyen uydular için sonuçları göz ardı edilemez problemdir [3].

Uzay enkazı miktarının sürekli artmasıyla birlikte, iki enkaz nesnesi veya bir enkaz nesnesi ile aktif bir uydu veya uzay aracı arasındaki çarpışmalar giderek daha olası hale gelmektedir. Bu durum, uzaydaki uydular ve uzay araçları için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Bu enkaz, fırlatma operasyonları sırasında geride bırakılan parçalar, kullanılmayan uydular ve çarpışmalar sonucu oluşan kırıntılar şeklinde ortaya çıkar. Uzaydaki enkaz parçacıkları, yüksek hızlarıyla hareket eder ve çarpışma durumunda büyük hasarlara neden olabilir. Uydu veya uzay

aracının gövdesini delerek içindeki hassas bileşenlere zarar verebilir veya tamamen kullanılamaz hale getirebilir. Bu da iletişim kesintileri, veri kaybı ve uzay araştırmalarının sekteye uğraması gibi ciddi sonuçlara yol açar. Örneğin günümüzde enkazın yıllara göre evrimini gözlemlediğimizde uzay enkazının artması, gelecekte uzaya veya başka gezegenlere misyonlar oluşturma kapasitemizi sınırlayabilecek bir olasılık olarak görülmektedir. Aşağıda gösterilen resim bu olasılığın olma ihtimalinde dünyanın uzaydan nasıl görüleceğini açık şekilde gösterir.

Ayrıca giriş bölümünde kısaca bahsettiğimiz “Kessler sendromuna” geri dönüp, bu ne demek olduğunu anlamamızın karşımızda duran problemin ne denli olduğunu daha iyi kavramamıza yardımcı olabileceğini düşünüyorum. Kessler sendromu kendiliğinde uzaydaki enkazın sürekli bir döngü içinde çarpışması sonucunda ortaya çıkan zincirleme reaksiyonu ifade eder. Bu durumda, herhangi bir çarpışma sonucunda oluşan enkaz, yeni çarpışmalara neden olabilir ve bu süreç zamanla zincirleme reaksiyon gibi artarak devam eder.

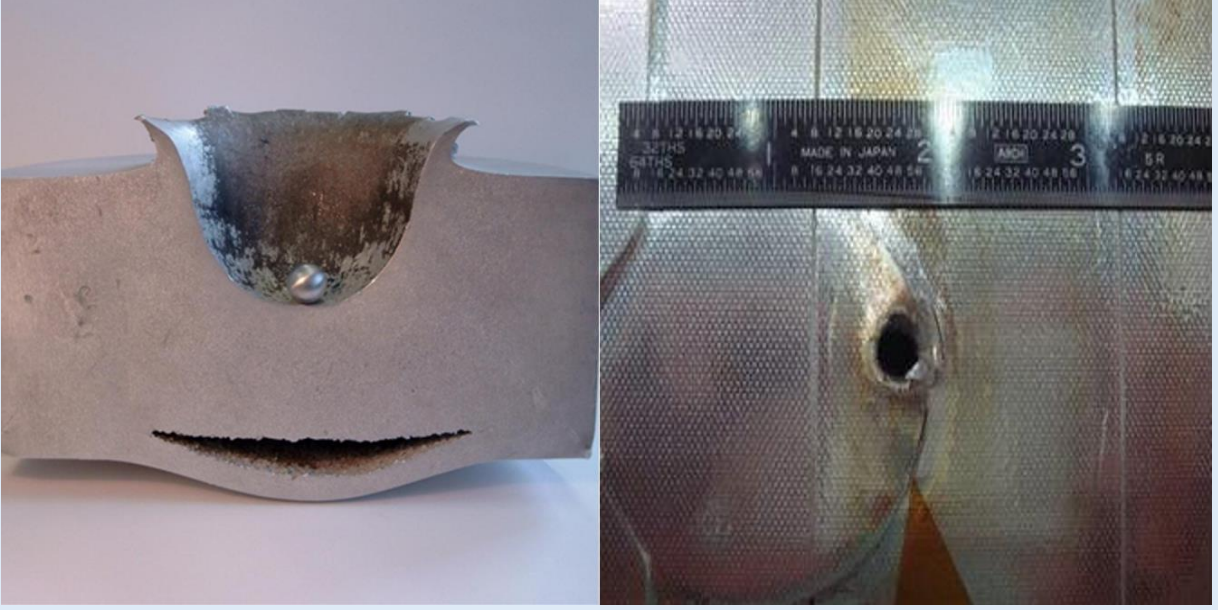


Şekil 1. Uzay enkazının yıllara göre evrimi [19]

7. Aktif uyduların faaliyetine yönelik tehdit

Uzay enkazının yüksek hıza sahip olduğundan dolayı yüksek kinetik enerjiye sahip olduğunu da belirttik. Yörüngede enkazın artması onların aktif uydularla aynı yörüngeleri paylaşma ihtimalini, bununla da çarpışma olasılığı gittikçe artmaktadır. Hatta uzay ajansları bunun gibi durumlarla defalarca karşılaşmıştı. Bazıları küçük kayıplarla tehlikeyi atlatmışken, bazılarıysa çarpışma sonucu büyük kayıplarla karşılaşmıştır.

Örneğin Azerbaycan'ın Azerkosmos uzay ajansının uydusu Azersky'la iletişim kesilmiştir. Amerikan Uzay Gözlem Ağı'nın (Space Surveillance Network, SSN) bilgilerine göre Azersky hala kendi yörüngesinde, artık bir enkaz gibi dönmeye devam ediyor. İhtimallerden birisi de küçük enkaz parçasının uydunun kritik bölgeleriyle çarpışıp, arıza yaratmasıdır [14].



Şekil 2. Küçük enkaz çarpışmalarının sonucu [25] [26]

8. Enkaz oluşturan eylemler

1957 yılında Clyde Tombaugh'un gözlemleri sonucunda Alçak Dünya Yörüngesinin (Low Earth Orbit, LEO) güvenli olduğundan giriş bölümünde bahsetmiştik. Fakat bugün uzay ajanslarının gözlemleri bize tam tersini, artık Alçak Dünya Yörüngesinde enkaz miktarının kritik sınırlara ulaştığını söylemektedir [2] [10].

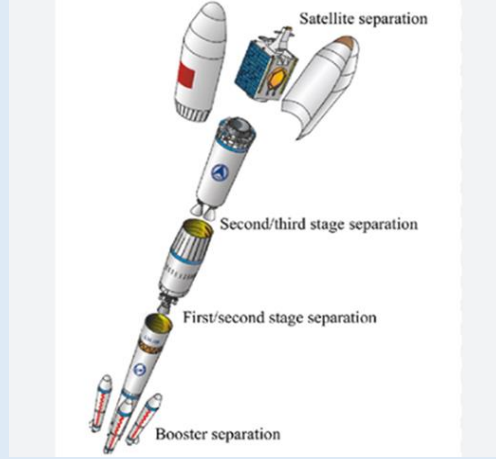
Günümüzde artan uzay faaliyetleri, insanlık için büyük fırsatlar sunarken, aynı zamanda uzay enkazı sorununu da beraberinde getirmiştir. Uzaydaki enkaz parçacıkları, çeşitli kaynaklardan kaynaklanan eylemler sonucunda oluşmaktadır. Bu parçacıklar, fırlatma operasyonları, kullanılmayan uydu ve roketlerin uzayda bırakılması, çarpışmalar ve diğer faktörler tarafından üretilmektedir. 'Enkaz Oluşturan Eylemler' bölümünde, uzay enkazı problemine katkıda bulunan bu eylemleri ayrıntılı bir şekilde ele alacağız. Bu bölümde, uzaydaki enkaz miktarının artmasına sebep olan eylemlerin çeşitliliği, etkileri ve önemi üzerinde durulacak. Ayrıca, bu eylemlerin uzay enkazı probleminin büyümesine nasıl katkıda bulunduğunu ve gelecekteki tehlikeleri nasıl arttırdığını inceleyeceğiz. Enkaz oluşumuna katkıda bulunan bu eylemlerin belirlenmesi, uzaydaki kaynakları yönetme, temizleme ve sürdürülebilir bir uzay faaliyeti için alınması gereken önlemlerin vurgulanmasını sağlayacaktır.

Uzay enkazının oluşum nedenlerinin anlaşılması büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, Uzay ajansları, bu alanda yoğun çaba sarf etmektedir. Enkazın oluşumunu etkileyen faktörlerin doğru bir şekilde tespit edilmesi, etkili önleme stratejilerinin geliştirilmesi için temel bir adımdır. Bu bölüm, enkaz oluşturan eylemleri araştırarak, bu eylemlerin sebeplerini, örneklerle destekleyerek açıklamayı amaçlamaktadır. Bu sayede, enkaz oluşumunun temel dinamiklerini anlama ve gelecekte ortaya çıkabilecek olası problemleri analiz etme imkanı sağlanmaktadır.

8.1 Fırlatma operasyonlarından kaynaklanan enkaz

Roketler, belirli koordinatlara bir uyduyu ulaştırmak için kullanılan fırlatma araçlarıdır. Uyduyu hedeflenen yere götürebilmek için roket, belirli aşamalardan geçer. Bu aşamalardan biri olan

ilk aşama, genellikle atmosferin altında gerçekleşir ve roketin faydalı yükü taşıyabilmesi için gerekli itme sağlanır. İlk aşama, yerde belirlenmiş güvenli bir alana iniş yapar, bu nedenle uzay enkazı olarak kabul edilmez. Ancak, diğer aşamalar genellikle uzayda bırakılır ve yer yörüngesinde başıboş bir şekilde dönerler. Bu aşamalarda, roketin gövdesindeki yakıt tankları boşaltıldığında, o kısmı bırakılır ve bu süreç, faydalı yükün belirlenmiş noktaya ulaşması tamamlanana kadar devam eder. Bu nedenle, bu aşamalar sonucunda uzayda bırakılan parçalar uzay enkazı olarak kabul edilir [11].



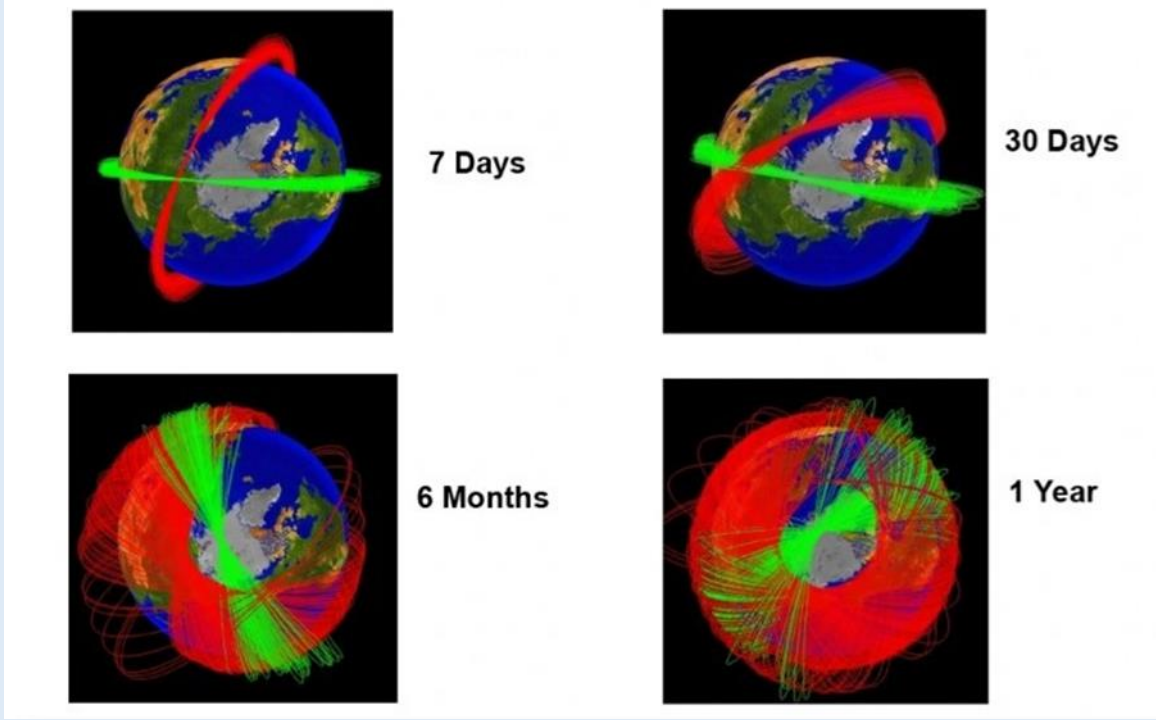
Şekil 3. Roket aşamaları [20]

8.2 Bir zamanlar aktif olan uyduların faaliyeti bittikten sonra yörüngede kalması

Maalesef günümüz teknolojileri yeteri kadar gelişmediklerinden dolayı uzayda aktif olarak faaliyet gösteren uydular faaliyetini bitirdikten sonra yörüngeden yere güvenli ve ekonomik olarak güvenli şekilde döndürmek imkanlarımız çok kısıtlıdır. Bu yüzden bugün faaliyet gösteren uydular faaliyetini bitirdikten sonra yörüngede enkaz olarak başıboş şekilde dönerler ve diğer uydular için tehdit oluşturabiliyorlar [2].

8.3 Uyduların çarpışması

Enkaz oluşturan eylemler içinde en tehlikeli olanlardan biridir. Bazen iki aktif olmayan uydu bir-birleriyle çarpışıyor ve ortaya binlerce yeni enkaz parçacıkları çıkıyor. Bu enkaz parçacıklarının bir kısmı izlenebilir olsa da büyük bölümü teknolojik yetersizlikten dolayı gözlemlenemiyor ve aktif uydular için gerçek bir tehdit oluşturuyor. Aslında buna benzer olaylarla birkaç kez karşılaştık. NASA Glenn Research Center'in (2010) raporuna göre, Cosmos 2251 ve Iridium 33 uydularının çarpışması 10 Şubat 2009 tarihinde gerçekleşmiştir. [11] Bu, iki operasyonel uydu arasında meydana gelen ilk tesadüfi hiper-hızda çarpışmasıydı. Çarpışma, yüksek mekânsal yoğunluğa sahip bir bölgede, yani nesnelere yoğun olarak bulunduğu bir bölgede, 790 km yükseklikte meydana geldi. Bu olay sonucu çarpışma sonucu oluşan enkazın yörüngede dağılımının aşağıda resimdeki simülasyonda gösterilmiştir.



Şekil 4. Cosmos 2251 ve İridium 33 uydularının çarpışması sonrası 1 yıl içinde yörüngede dağılımı [21]

8.4 Uydusavar silah testleri

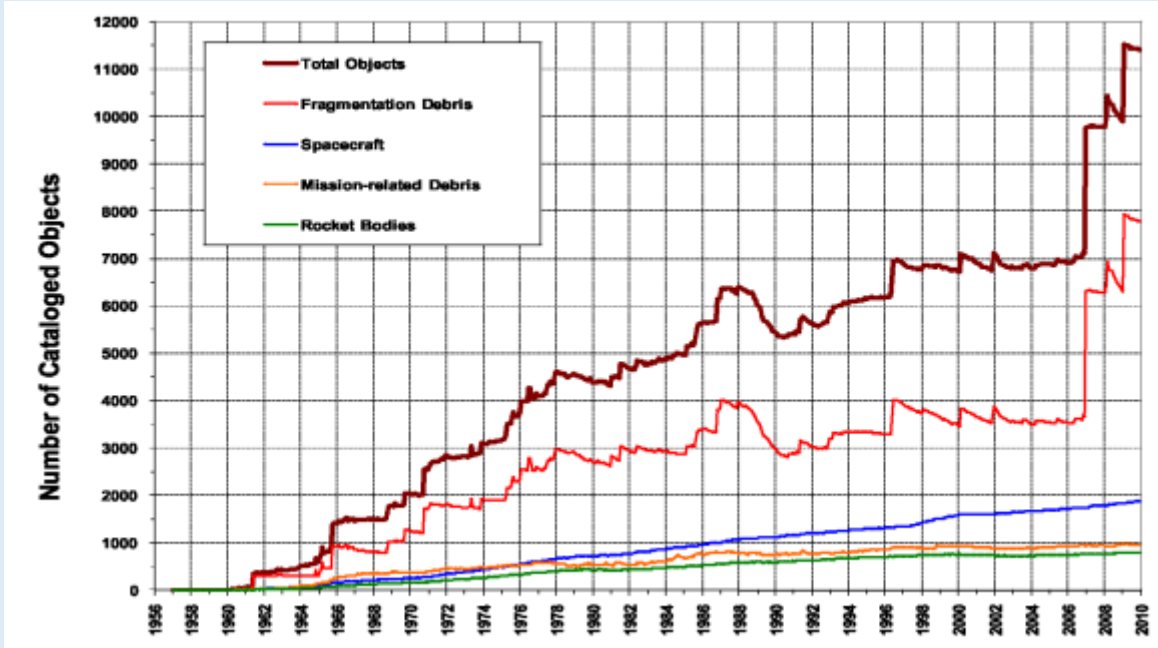
2007 yılında Çin Fengyun 1C Uydusavar Silah Testi (Anti Satellite Weapon Test, ASAT) testi sırasında yok etti. Bu test uzaydaki enkaz miktarını önemli ölçüde artırdı ve uzay araçlarına ve uydulara çarpma riskini yükseltti. Testten sonra, 2.841 parça enkaz takip edilebilir hale geldi [3].

Sovyetler Birliği, 1960'lı ve 1980'li yıllarda çeşitli uydusavar testleri gerçekleştirdi. Bu testlerden biri, 1970 yılında Cosmos-954 uyduyu hedef alarak yapıldı. Cosmos-954 uyduyu vuran bir füze sonucunda, uydu parçalandı ve enkaz parçaları Kanada topraklarına düştü. Bu olay, uluslararası gerginliğe ve uzay enkazının tehlikelerine dair endişelere yol açtı [12].

2019 yılında Hindistan, 'Mission Shakti' adıyla bir uydusavar testi gerçekleştirdi. Bu test sırasında, Hindistan, düşük yörüngede uçan bir uyduyu hedef alarak vurdu ve parçaladı. Bu test, Hindistan'ın uydusavar teknolojilerine sahip olduğunu gösterdi ve uluslararası alanda tartışmalara neden oldu [13].

ABD'nin de farklı yıllarda yaptığı uydusavar uzay testleriyle enkazın artmasına büyük katkısı olmuştur.

NASA, Şekil 5'te gösterildiği üzere, uzay enkazının 1957-2010 yılları arasındaki evrimini gösteren bir grafik yayınladı [15]. Şekil 5 uydusavar testlerinin uydu çarpışmalarının enkaz artımına olan etkilerini net olarak göstermektedir.



Şekil 5. Uzay enkazının yıllara göre artış grafiği [22]

9. Enkazla baş etme yöntemleri

Uzay enkazının günümüzde uzay endüstrisi için büyük tehdit olduğunu, risklerini, eğer önlenmezse olası senaryoları, ayrıca bugüne kadarki olayları elimizden geldiğince önceki bölümlerde aktarmaya çalıştık. Problem kendiliğinden büyüdüğünden uzay ajansları meseleye karşı dikkatli olmak, olası riskleri yönetmek, olaylardan ders çıkarıp hataları azaltmak ve en son problemi çözmek için farklı yöntemler geliştirmiş hala geliştirmeye devam ediyor. Çalışmanın bu bölümünde mevcut problemi önlemek, riskleri minimuma indirmek doğrultusunda kullanılan ve geliştirilen teknolojilerden bahsedeceğiz.

9.1 Enkaz gözetleme sistemleri

Uzay enkazının hangi yörüngelerde daha yoğun olduğunu, hangi miktarlarda olduğunu, yeni çarpışmalardan oluşan enkazların dağılımı, problemin doğasını ve problemle ilgili daha çok şeyi öğrenmek için bilim insanları 30 yılı aşkın süredir bir yöntem kullanıyorlar. Bu yöntem yer tabanlı radyo ve optik teleskoplarla uzay enkazını izlemek üzerine kuruludur [16]. İlk defa NASA uzay enkazını izlemek üzerine teleskopları kullandı. 1991-1994 yıllarında bu yöntem test edildi. İlk kez 1991 yılında TRADEX (Target Resolution and Discrimination Experiment) 4.4 saatlik gözlemi boyunca 19 nesneyi tespit edebildi. 1994 yılına kadar toplam 100 nesneyi tespit etti [16].

Bir diğer kullanılan radyo teleskop ALTAIR (ARPA Long-Range Tracking and Instrumentation Radar) 1000 km menzildeki 3 cm. çapındaki nesnelere tespit edebilmektedir, ve bu özelliğine göre TRADEX'ten daha hassastır. 1994 yılında ALTAIR 100 nesneyi tespit edebilmişti ve bu nesnelere 51'i kataloglanmamıştı [16]. Buna ek olarak ABD'nin o yıllarda kullandığı Haystack, HAX (Haystack Auxiliary Radar, HAX), Goldstone gibi teleskopların hizmetinden yararlanarak bugün uzay enkazı hakkında en doğru bilgileri elde etmektedir.

NASA'ya ek olarak Avrupa Uzay Ajansı, Japonya, Hindistan ve başka birkaç ülkede uzay enkazlarını gözlemlemek için teleskop bazlı yöntemler kullanıyorlar [16]. Ek olarak Avrupa

Uzay ajansı ve diğer uzay ajanslarının da kendi gözlemleri ve bu gözlemler sonucunda oluşturdukları kategori vardır. Bu kategoriler sayesinde uzay enkazını kontrol etmek ve bu problem üzerine yeni ve etkili çözümler geliştirmek daha kolay olabiliyor. Örneğin; Avrupa Uzay Ajansının kendi kategorizasyonu vardır ve Tablo 1’de uzay nesnelere hangi kategorilere bölüldüğünü detaylı belirtmiştir [17].

Tablo 1. Avrupa uzay Ajansının uzay enkazı kategorizasyonu

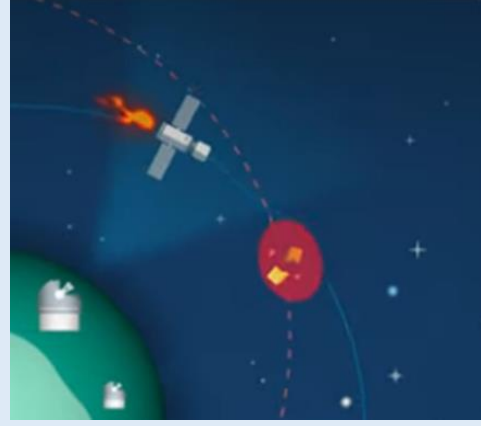
Kategori	Açılımı
Faydalı Yük - PL	Uzayda faaliyet gösteren aktif uydular
Faydalı yükle ilgili nesnelere - PM	Yükün işlevi için bir amaç gören ancak uzay çöpü olarak bırakılan uzay nesnelere
Yük parçalanma enkazı - PF	Uzay çöpü olarak parçalanmış veya istem dışı bırakılan ve oluşumları tek bir olaya dayandırılabilen uzay nesnelere
Yük enkazı - PD	Yükten uzay çöpü olarak parçalanmış veya istem dışı bırakılan ve oluşumları belirsiz olan ancak yörüngesel veya fiziksel özellikleriyle bir kaynaktan ilişkilendirilebilen uzay nesnelere
Roket misyonuyla ilgili nesnelere - RM	Roket gövdesinin işlevi için bir amaç gören ancak uzay çöpü olarak kasıtlı olarak bırakılan uzay nesnelere
Roket gövdesi - RB	Fırlatma ile ilgili işlevleri yerine getirmek için tasarlanmış bir uzay nesnelere
Roket Parçalanma enkazı - RF	Roket gövdesinden uzay çöpü olarak parçalanmış veya istem dışı bırakılan ve oluşumları tek bir olaya dayandırılabilen uzay nesnelere
Roket çöpleri - RD	Roket gövdesinden uzay çöpü olarak parçalanmış veya istem dışı bırakılan ve oluşumları belirsiz olan ancak yörüngesel veya fiziksel özellikleriyle bir kaynaktan ilişkilendirilebilen uzay nesnelere

9.2 Uydu manevrası

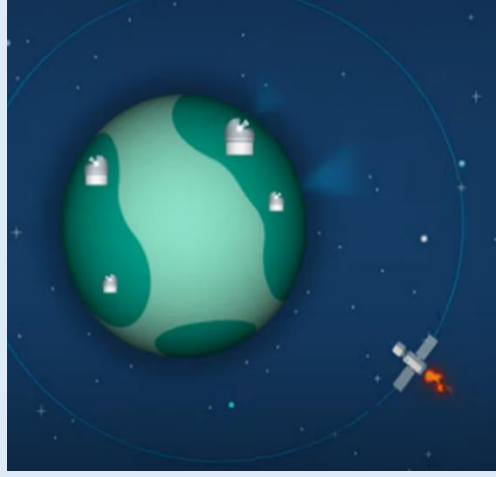
Bundan önceki bölümde uzay enkazını gözlemlemenin öneminden bahsettik. Bu bölümde gözlemlemenin önemi görsellerle daha iyi anlatılacaktır. Aktif uydu ve enkaz parçaları aynı yörüngede bulunabilir veya yörüngeleri sonucunda aynı koordinatlardan aynı zaman diliminde geçebilir. Bu ve benzeri olaylar aktif uydular için ölümcül riskler barındırabilir. Bu yüzden uzay enkazını ve uyduları gözlemlemek gereklidir. Bu gözlemler sayesinde olası çarpışmalar önceden tespit edilebiliyor ve uzay ajansı uyduyu tehlike geçene kadar başka yörüngeye taşıyor, yani manevra yapıyor. Tehlike geçtikten sonra uydu kendi yörüngesine dönüş yapabilmektedir.



Şekil 6. Olası çarpışmanın tespit edilmesi [23]



Şekil 7. Çarpışmadan kaçınmak için uydu manevra yapıyor [23]



Şekil 8. Tehlike geçtikten sonra uydu kendi yörüngesine dönüyor [23]

Bu yöntem şimdilik uyduları kritik anlarda güvende tutabilir, fakat iki konuda eksiklikleri vardır. Öncelikle yörünge manevrası yapmak için uydunun enerjiye ihtiyacı vardır, fakat bu enerjiyi alabileceği bir yöntem bulunmamaktadır. Yani uydunun enerjisi limitli ve belirli manevralardan sonra manevra yapmak için gerekli enerjisi olmayacaktır. Bir diğer husus ise, yerden gözlemediğimiz teleskopların uzay enkazı hakkında bize verdiği veriler eksiksiz değildir. Bu teleskoplar da kendiliğince eksiklikleri vardır ve belirli şartlar içinde yörüngeyi taradıkları zaman hata yapma ihtimalleri de yüksektir [16].

9.3 Uzay enkazı problemini çözmeye yönelik projeler

Maalesef günümüzde başlıkta uzay enkazı tehditlerini önleyici, bertaraf edici veya bu enkazlardan kaçındırıcı teknolojiler bulunmamaktadır. Bunun sebebi problemin kompleksliğidir. Fakat uzay ajansları bu problemin doğrudan çözümüne yönelik farklı yaklaşımlarda bulunmakta, yeni teknolojik fikirleri test etmektedirler. Deorbit Projesi Acsipa Uzay Ajansının Clean Space programının bir parçasıdır. Misyonu genellikle ölçü olarak büyük enkazları toplayarak atmosfere salmak, ya da uzaya doğru fırlatmaktır [17]. Japonya Uzay Ajansının da buna benzer başka projesi vardır. Amaç da aynı şekilde enkazı yakalamak ve uzay boşluğuna veya atmosfere sürüklemektir.



Şekil 9. Avrupa Uzay Ajansının Deorbit projesi [24]

10. Sonuç

Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (AUS) gelişmesi ve Kooperatif AUS sistemlerinin yaygınlaşması, uzay tabanlı iletişim teknolojilerinin araçlar ve altyapının derin entegrasyonu ile sonuçlanacaktır. Karasal iletişimin yeterli bant genişliğine veya sinyal gücüne sahip olmadığı, özellikle kentsel mekanların dışarısında kalan bölgelerde kara, deniz ve havayolu taşımacılığı gibi ulaşımın günümüzdeki en yaygın modlarında ihtiyaç duyulacak söz konusu uzay tabanlı iletişim çözümlerinin, uydu operasyonlarının maliyeti ve sürdürülebilirliği göz önünde tutulduğunda, Alçak Yer Yörüngesinde (LEO) yoğunlaşacağı öngörülmektedir. Bu da uzaya açılan en alt yörünge olan Alçak Yer Yörüngesi'nde uydu trafiğinin artacağı, kasıtsız kaza ve çatışma gibi durumlarda dahi uyduların uzay enkazına dönüşebileceği anlamını taşımaktadır. Böyle bir durumda oluşacak uzay enkazlarını kontrol etmek mümkün olmadığı gibi, diğer uydular ve bağlı olduğu hizmetlerin varlığı için ciddi seviyede tehditler oluşmaktadır.

Uzay enkazı sorunu günümüz teknolojisi ve bilgisi ile ele alınması zorlu bir görevi temsil etmektedir. Kessler Sendromu gibi faktörler, yörüngede artan enkazın uzaya ve gelecekteki uzay misyonlarına yönelik ciddi tehditler oluşturabileceğini vurgulamaktadır. Mevcut yönetim yöntemleri ve teknolojiler, bu riskleri azaltmak için kullanılabilir; ancak sorunun karmaşıklığı göz önüne alındığında, daha ileri ve yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çerçevede, hassas sensörlerle donatılmış küçük uyduların uzaya gönderilmesi neticesinde enkazların hızı, boyutu ve hacmi gibi kritik bilgilere erişmek için önemli bir enstrüman elde edilebilir. Ayrıca, yörüngedeki enkazı temizlemek için projelerin başlatılması olumlu bir adımdır, ancak bu projelerin sürekli ve hızlı bir temizlik sürecini sağlamak için daha verimli hale getirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, uzay enkazının etkili bir şekilde ele alınabilmesi için bilimsel ve teknolojik gelişmelere odaklanmamız, yörüngedeki tehditleri minimize etmek ve gelecekteki uzay misyonlarını korumak için önemlidir. Bu sorunun üstesinden gelmek, uluslararası işbirliği ve inovasyon gerektiren bir zorluk olup, gelecek nesillerin uzay keşiflerine devam edebilmesi için önemlidir.

11. Çıkar çatışması

Bu çalışma; Ahmad Rahimov tarafından Dr. Öğr. Üyesi Emrah Dönmez danışmanlığında yazılmakta olan "Cubesat Ağı ile Uzay Enkazlarının Tespiti" Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında yapılmıştır.

Kaynakça

- [1] NASA, "Phoenix Mars Lander's first images", NASA, 2008. [Online]. Available: [https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_924.html].
- [2] NASA, "Space debris and human spacecraft", NASA, 2013. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html].
- [3] L. Hall, "The history of space debris", 2014.
- [4] D. J. Kessler and B. G. Cour-Palais, "Collision frequency of artificial satellites: The creation of a debris belt", J. Geophys. Res.: Space Phys., vol. 83, no. A6, pp. 2637-2646, Jun. 1978.
- [5] NASA, "Micrometeoroids and orbital debris (MMOD)", NASA, 2016. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.nasa.gov/centers/wstf/site_tour/remote_hypervelocity_test_laboratory/micrometeoroid_and_orbital_debris.html].
- [6] A. Cuarón, Gravity, Warner Bros. Pictures, 2013.
- [7] NASA, "NASA Teams Delay Spacewalk After Debris Notification", NASA, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://blogs.nasa.gov/spacestation/2021/11/30/nasa-teams-delay-spacewalk-after-debris-notification/].
- [8] R. G. Ryan et al., "Impact of rocket launch and space debris air pollutant emissions on stratospheric ozone and global climate", Earth's Future, vol. 10, no. 6, e2021EF002612, Jun. 2022.
- [9] I. Pădurariu, "SPACE DEBRIS, ANOTHER ENVIRONMENTAL ISSUE", Challenges of the Knowledge Society, pp. 323-331, 2022.
- [10] Avrupa Uzay Ajansı (ESA), "Uzay enkazı hakkında", ESA, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/About_space_debris].
- [11] NASA Glenn Research Center, "Roket aşamaları", NASA Glenn Research Center, 2015. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/rktstage.html].
- [12] J. A. Lampkin and T. Wyatt, "An astro-green criminological examination of orbital space debris", Criminology & Criminal Justice, vol. 23, no. 4, pp. 1-18, Aug. 2023.
- [13] V. Akhmetov et al., "Cloud computing analysis of Indian ASAT test on March 27, 2019", in Proc. IEEE Int. Sci.-Pract. Conf. Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, Oct. 2019, pp. 315-318.
- [14] Azernews, "Azerbaijan to launch new satellite in 2024", Azernews, Jun. 25, 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.azernews.az/nation/208922.html].
- [15] M. Matney, "Tutorial: An Overview of the Orbital Debris Environment", in Applied Space Environments Conference (ASEC), Houston TX USA, May 2019.
- [16] G. Muntoni et al., "Crowded space: a review on radar measurements for space debris monitoring and tracking", Appl Sci., vol.11, no.4, p.1364, Feb.2021.
- [17] ESA, "DISCOS - Database and Information System Characterising Objects in Space", ESA, 2023. [Online]. Available: [https://discosweb.esoc.esa.int/].

- [18] Avrupa Uzay Ajansı (ESA), "ESA's Space Environment Report 2023", ESA, 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: [https://www.esa.int/Space_Safety/ESA_s_Space_Environment_Report_2023].
- [19] Liou, J. C. "Orbital Debris Challenges for Space Operations." ICAO/UNOOSA Symposium (JSC-CN-35446), March 2016.
- [20] "What Are Multistage Rockets," SatNOW Community. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.satnow.com/community/what-are-multistage-rockets>.
- [21] J. Nicholas, "The collision of iridium 33 and cosmos 2251: The shape of things to come," in 60th International Astronautical Congress, Oct. 2009, no. JSC-CN-18971.
- [22] N. L. Johnson, "Orbital debris: the growing threat to space operations," in 33rd Annual Guidance and Control Conference, (No. AAS 10-011), 2010, February.
- [23] European Space Agency, "Dodging debris to keep satellites safe," ESA, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.esa.int/esearch?q=maneuver>.
- [24] European Space Agency, "ESA's active debris removal mission: e.Deorbit," ESA, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.esa.int/esearch?q=deorbit>.
- [25] M. Wall, "Space Junk Removal Is Not Going Smoothly," Scientific American, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.scientificamerican.com/article/space-junk-removal-is-not-going-smoothly/>.
- [26] "Space Debris Remains an Ongoing Concern for Landsat and Other Satellites," U.S. Geological Survey, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.usgs.gov/news/space-debris-remains-ongoing-concern-landsat-other-satellites>.

Yerel Yönetimlerde Otopark Stratejileri

Sevcan Biçen^{1*}, Taylan Engin²

¹Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı,

Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı,

Bandırma, Türkiye

*sevcanbicen@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID-0000-0001-9787-4756, ORCID-0000-0001-6981-0683

Özet

Yerel yönetimlerde otopark stratejileri, kentsel planlamada ve kentsel hareketliliğin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu stratejiler artan nüfus, trafik sıkışıklığı ve çevresel etkiler gibi kentsel sorunlara etkili çözümler sunmayı amaçlamaktadır. Otopark stratejileri aynı zamanda otopark kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayan, ilgili sorunları araştıran ve iyileştirilmiş yöntemlerin nasıl uygulanabileceğini ortaya koyan çeşitli politika ve programları ifade etmektedir. Yerel yönetimlerin otopark stratejilerinin temellerini gözden geçirmek amacıyla ortaya koyduğu planlama ve yönetim ilkeleri ele alınmaktadır. Böylelikle ekonomik, sosyal ve çevresel faydaları dinamik olarak hayata geçirme fırsatı sağlarlar. Tüm otopark stratejileri lokasyona özel kombinasyonlar halinde uygulandığında park sorununa çözümlerde getirmektedir.

Anahtar kelimeler: park yönetimi, ulaşırmada talep yönetimi, otopark stratejileri, Avrupa Otopark Birliği

Parking strategies in local governments

Abstract

Parking strategies in local governments play an important role in urban planning and regulation of urban mobility. These strategies aim to provide effective solutions to urban problems such as increasing population, traffic congestion and environmental impacts. Parking strategies also refer to a variety of policies and programs that enable more efficient use of parking resources, investigate relevant problems, and reveal how improved methods can be implemented. The planning and management principles put forward by local governments in order to review the basics of parking strategies are discussed. Thus, they provide the opportunity to dynamically realize economic, social and environmental benefits. All parking strategies provide solutions to the parking problem when applied in location-specific combinations.

Keywords: parking management, demand management in transportation, parking strategies, European Parking Association

1. Giriş

Otoparklar, sürdürülebilir ulaşım/ulaştırma sisteminin oluşturulması için önemli bir araçtır. Otopark stratejileri, otopark sorunları hakkında düşünme biçimimizi değiştirmeyi ve planlama sırasında dikkate alınan seçenek ve etki yelpazesini ortaya koyar. Mevcut durum itibarıyla ne yapılabileceği üzerinde durmak ve sonrasında yeni ne tür planlamaların yapılabileceği hususunda; otopark talebini arttıran stratejiler, otopark talebini düşüren stratejiler ve destek stratejileri çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Otoparkın verimli ve stratejik yönetimi, erişilebilir ve yaşanabilir şehirler için destekleyici bir araçtır. Bu çalışmada parklanma talebini yönetmeye ve araçlara yönelik park arzını iyileştirmeye yönelik yerel yönetimlerde otopark stratejisi incelenmiştir.

2. Otopark Yönetimi ve Stratejileri

Yerel yönetimler açısından otoparkların etkin bir şekilde yönetimi, planlaması ve stratejik bir politika çerçevesinde ele alınması büyük önem taşımaktadır. Otoparklar, mülkiyet ve tasarlanış amacına göre şahsi veya kamuya açık olarak kategorize edilmekte olup, "yol kenarı otopark" ve "yol dışı otopark" olmak üzere iki ana çeşide ayrılmaktadır. Bu alanlar, herkesin kullanabileceği araç park etme imkânı sağlayarak şehir yaşam kalitesini etkileyen önemli unsurlardır.

Karayolları Trafik Kanunu'na göre park, trafik zorunlulukları dışında bir durma şekli olarak tanımlanmaktadır. Ancak, kanun yolcu veya yük indirme veya alma amacıyla yapılan duraklamaları park kavramı dışında kabul etmektedir. Bu noktada, yerel yönetimlerin trafik düzenlemeleri ve park yönetimi politikalarını etkin bir biçimde uygulamaları, şehir içi trafiği düzenleyerek olası sıkışıklıkları önlemeye yönelik stratejik adımlar atmalarını gerektirmektedir.

Park yönetimi, günümüz planlama anlayışının yerine alternatif çözümler üreten bir sistem olarak öne çıkmaktadır. Yerel yönetimler, karşılaşılan otopark sorunlarına çözüm odaklı politika, program ve stratejiler geliştirmeli ve bu stratejileri şehir planlamasına entegre etmelidir. Bu çerçevede, sürdürülebilir ve etkin park yönetimi, şehirlerin trafik akışını iyileştirmek, otopark alanlarını optimize etmek ve halkın günlük hayatını kolaylaştırmak adına hayati bir öneme sahiptir.

Park yerleri, araçların otopark alanı içinde işgal ettiği belirli alanları ifade eder. Yerel yönetimler, bu alanları belirlerken şehirdeki talepleri, nüfus yoğunluğunu, ticaret bölgelerini ve toplu taşıma duraklarını dikkate almalıdır. Etkin park yerleri planlaması, şehir sakinlerine uygun ve erişilebilir otopark imkanları sunarak trafik sıkışıklığını azaltabilir ve şehir yaşamını daha konforlu hale getirebilir. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin otopark yönetimi stratejilerini sürekli olarak gözden geçirmeleri ve güncellemeleri, şehir planlamasının sürdürülebilirliğine önemli katkılarda bulunabilir [1].

Park yönetimi, günümüzde planlama anlayışının ötesine geçerek alternatif çözümler sunan bir sistem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşım, otoparklarla ilgili karşılaşılan sorunlara çözüm odaklı politika, program ve stratejiler geliştirmeyi amaçlar. Uygulanan park yönetimi önlemleri, kısa vadede %5-%10 arası fayda sağlayabilirken, uzun vadede bu oran %20-%40 seviyelerine çıkabilir. Bu, otopark yönetimi stratejilerinin zaman içinde daha etkin hale gelerek şehir planlamasına önemli katkılarda bulunabileceğini gösterir.

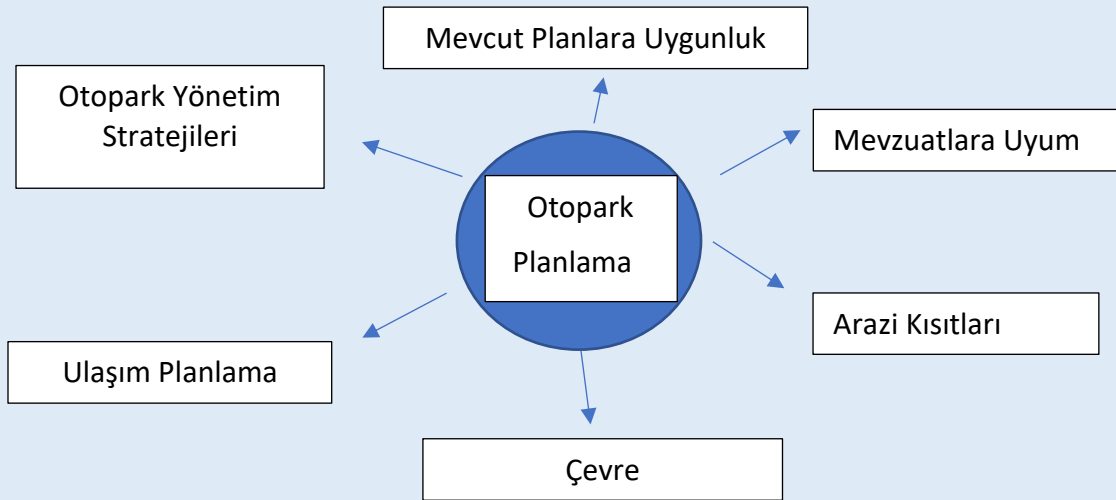
Otopark yönetimi uygulamaları, sadece kısa vadeli avantajlar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar da sunar. Mevcut park alanlarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını teşvik eder ve otopark kullanıcılarına kaliteli hizmetler sunmayı hedefler. Ayrıca, otoparkların tasarımını geliştirme amacıyla çeşitli stratejiler içerir. Bu stratejiler, şehirlerin trafik yönetimini optimize etmek, çevresel etkileri azaltmak ve toplumun genel yaşam kalitesini artırmak için önemli bir rol oynar.

Otopark yönetimi, sürdürülebilir kentleşme hedefleri doğrultusunda planlamacılara ve yerel yönetimlere rehberlik ederek, şehirlerdeki ulaşım sorunlarına çözüm getirme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, otopark yönetimi stratejilerinin sürekli olarak gözden geçirilmesi ve güncellenmesi, şehir planlamasında daha etkin ve sürdürülebilir çözümlerin benimsenmesine katkı sağlayabilir [2].

En önemli stratejilerin bazıları şöyledir:

- Araba paylaşımı,
- Otopark ücretlendirilmesi,
- Otopark ve daire satışlarının birbirinden ayrılması,
- Mali teşvikler (işverenlerden sağlanan otopark nakit teklifi),
- Otopark düzenlemeleri,
- Daha esnek otopark standartları,
- Gelir vergilerine dayandırılmış otopark ücretlerinin arttırılması,
- Otopark birimlerin sayısına dayandırılmış otopark ücretlerinin arttırılması,
- Bölge yönetmeliklerini değiştirerek otopark arzının sınırlandırılması,
- Üsteki stratejilerin değişik birleşimleri.

2.1 Otopark Planlama İlkeleri ve Otopark Yönetimi



Şekil 1. Otopark Planlama İlkeleri

Otopark yönetimi, genellikle seyahat seçeneklerini geliştirerek, sürücülere daha çeşitli ve etkili ulaşım alternatifleri sunar. Bu, özellikle yürüyüş, bisiklet, toplu taşıma, araba paylaşımı gibi alternatif seyahat seçeneklerini teşvik ederek çeşitli avantajlar sağlar. Otopark yönetimi, sürücülere daha uygun ancak daha yüksek fiyatlı veya daha az uygun ancak daha ucuz park alanları arasında seçim yapma ve fiyatlandırma (saatlik, günlük veya aylık ücretler, elektronik ödeme vb.) seçenekleri sunarak esneklik sağlar [5].

Otopark yönetiminin avantajları arasında park yeri maliyetinde tasarruf sağlama, hizmet kalitesini iyileştirme ve trafik tıkanıklığını azaltma bulunmaktadır. Ayrıca, esnek tesis konumları oluşturarak tasarımsal otopark olanakları yaratma kapasitesine sahiptir. Otopark yönetimi, araç dışı seyahati destekleyerek şehir içi trafiği rahatlatır ve çevresel sürdürülebilirliği artırır.

Bazı otopark yönetimi stratejileri, otopark tesislerini finanse etmenin yanı sıra ulaşım iyileştirmeleri ve diğer şehir projelerini destekleme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, talep yönetimi konusunda etkili bir rol oynayarak şehirlerdeki ulaşımın daha verimli ve sürdürülebilir olmasına katkı sağlar. Akıllı büyümeyi destekleyerek şehir planlamasında daha yaşanabilir alanlar oluşturur ve toplumun genel yaşam kalitesini artırır. Bu bağlamda, otopark yönetimi stratejileri sürdürülebilir kentleşme hedeflerine ulaşmada önemli bir araç olarak öne çıkmakta olup, akıllı büyümeyi destekler ve daha yaşanabilir alanlar oluşmasına olanak sağlar [5].

2.2. Otopark Stratejileri

Otopark yönetimi kavramı üç ana strateji üzerine konumlandırılmıştır. Bunlar;

- Park yerlerinin etkinliğini artırmayı amaçlayan stratejiler,
- Park talebini azaltan stratejiler,
- Destek stratejileri.

Otopark yönetimi, öncelikle mevcut durumu değerlendirerek mevcut park yerlerinin daha etkin ve amaca uygun bir şekilde kullanılmasını sağlamaya odaklanır. Bu bağlamda, "Otopark Yeri Etkinliğini Arttıran Stratejiler" adını verdiğimiz ilk ana strateji, hali hazırda kullanılan park yerlerinin kapasitelerini ve kullanıcı çeşitliliğini artırarak, daha fazla sürücünün park yerlerinden etkin bir şekilde faydalanmasını amaçlar. Tablo 1'de otopark talebini artıran stratejiler yer almaktadır.

Tablo 1. Otopark Talebini Arttıran Stratejiler [3]

Strateji	Tanımlama
Paylaşımlı Park Yeri	Birden fazla kullanıcı ya da yöne hizmet verebilecek park yerleri sağlamak
Park Yeri Düzenlemeleri	Park yerlerinin daha etkin kullanılmasını sağlayacak kanuni düzenlemeler yapmak
Daha Uygun ve Esnek Standartlar Uygulama	Park standartlarını belirli bir durumda talebi daha kesin yansıtacak bir şekilde ayarlamak
Park Maksimumlarını	Maksimum park arzı için sınırları belirlemek

Belirleme

Uzak Otopark ve Ring Servisleri Sağlama	Bölge ya da şehir merkezinin kenarında otoparklar kurarak ilgili merkeze servis sağlamak ve kullanılmalarını teşvik etmek
Akılcı Büyüme Stratejileri Uygulama	Yoğun, karmaşık ve çok yönlü büyümeyi teşvik edecek arazi kullanımı politikaları uygulamak
Yürüme ve Bisiklet Kullanım İmkanlarını Arttırma	Araç kullanımını azaltarak, bir otoparkın hizmet alanındaki yönelmeleri arttırmak için yürüme ve bisiklet kullanımı teşvik etmek
Mevcut Otopark İmkanlarının Kapasitesini Arttırma	Kullanılmayan alanları, küçük bölmeleri, araç raf sistemlerini ve kişiye yönelik (valet parking) hizmetlerini kullanarak park arzını arttırmak

"Park Talebini Azaltan Stratejiler," özellikle trafik sıkışıklığına neden olan araç kullanımını azaltmayı hedefleyen bir yaklaşım sunar. Bu strateji, çeşitli önlemlerle sürücüleri alternatif ulaşım seçeneklerini kullanmaya teşvik etmeyi amaçlar. Bu teşvikler arasında toplu taşıma teşvikleri, bisiklet yolları, yürüyüş alanları gibi çeşitli alternatif ulaşım seçeneklerini desteklemek yer alır. Bu strateji ile sürücülerin farklı seyahat türlerini tercih etmeleri teşvik edilerek, otoparklara olan talebin azaltılması amaçlanır.

Tablo 2. Otopark Talebini Düşüren Stratejiler [3]

Strateji	Tanımlama
Ulaşım Talep Yönetimi Uygulamaları	Ulaşım yöntemi, zamanlama, yön ve araç seyahat sıklığında da değişiklikler yaparak, daha etkin seyahat biçimlerini teşvik etmek
Otopark Fiyatlandırması Yöntemleri	Sürücülerden, park yerini kullanmaları karşılığında doğrudan para almak
Fiyatlandırma Yöntemlerini Geliştirme	Fiyatlandırmayı daha rahat ve maliyete göre kılmak için daha iyi sistemleri kullanmak
Mali Teşvikler Sağlama	Farklı ulaşım sistemleri için mali teşvikleri sağlamak (peşin ödeme, ulaşım yardımları gibi)
Ayrı Park Yeri	Park yerlerini, bina alanlarından ayrı olarak satmak ya da kiralamak (Böylece satın alanlar ya da kiralyanlar sadece kullandıkları park yeri için para öderler)
Park Yeri Vergilerini Düzenleme	Park yönetimi amaçları destekleyecek çeşitli vergi politikası değişikliklerini hayata geçirmek
Bisiklet Kullanım İmkanları Sağlama	Bisiklet parkları, soyunma odaları ve toplu taşıma destek üniteleri sağlamak

Bu stratejiler, sürdürülebilir ulaşım modellerine geçişi destekleyerek çevresel etkileri azaltırken, aynı zamanda trafik yoğunluğunu azaltmayı hedefler. Otopark talebini azaltan bu

stratejiler, şehirlerin yaşanabilirliğini artırmak ve sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı oluşturmak adına önemli bir rol oynar (Tablo 2) .

"Destek Stratejileri" adını verdiğimiz üçüncü ana strateji, otopark yönetimi süreçlerini destekleyerek, diğer iki stratejinin etkilerini en üst düzeye çıkarmayı hedefler. Bu stratejiler, toplum üzerindeki etkileri en aza indirmek, uygulamaların kullanıcılara anlaşılır bir şekilde aktarılmasını sağlamak ve otopark yönetimini daha etkili bir şekilde uygulama bölgelerinde koordine etmeyi amaçlar. Aşağıda Tablo 3'de, "Destek Stratejileri" kapsamında yer alan önemli noktalar bulunmaktadır.

Tablo 3. Destek Stratejileri [3]

Strateji	Tanımlama
Kullanıcı Bilgilerini ve Pazarlamayı Geliştirme	Harita, tabela, broşür gibi araçlarla, park yerleri ve ücretleri konusunda anlaşılır ve kesin bilgiler sunmak
Uygulama ve Kontrol Mekanizmalarını geliştirme	Park kurallarını etkin, nazik ve asil uygulamasını takip etmek
Ulaşım ve Otopark yönetim Kurumları Oluşturma	Belli bir bölgede ulaşım ve park yönetimi hizmetleri sunacak üye kontrollü kurumlar oluşturmak
Park Taşması Planları Hazırlama	Park talebinin yoğun olduğu özel dönemler için planlar hazırlamak
Sokağa Park Etme Problemlerine Çözüm Üretme	Yönetim, uygulama e ücretlendirme politikaları kullanarak sokağın park etme problemlerine eğilmek
Park Yeri Tasarımlarını ve İşletmelerini Geliştirme	Park yönetimi amaçlarına ulaşabilmek ve sorunları çözebilmek için otopark tasarımlarını ve işletmelerini geliştirmek

Tablo 1, 2 ve 3'te belirtilen otopark stratejileri, arz-talep dengesini ve ekonomiklik ilkesini gözeterek, optimum düzeyde fayda sağlamayı amaçlar. Her bir strateji, otopark yönetiminin karmaşıklığını ve yüksek maliyetleri dikkate alarak, arz-talep dengesini koruma, ekonomiklik ilkesine uygun hareket etme ve maksimum fayda elde etme amacını taşır. Bu stratejiler, genellikle detaylı çalışmalar gerektiren ve doğrudan ya da dolaylı olarak yüksek maliyetlere neden olan otopark yönetimi inisiyatiflerini ele alacak bir yapı ve davranış biçimini içerir. Bu yapı ve davranış biçimi, otopark yönetiminin etkin bir şekilde planlanması, uygulanması ve yönetilmesini sağlar. Ayrıca, bu inisiyatiflerin doğrudan ve dolaylı maliyetlerine rağmen, kamuya büyük fayda sağlayan bir sistem oluşturulmasına olanak tanır. Bu faydalar, şehir içi ulaşımın düzenlenmesi, trafik sıkışıklığının azaltılması, çevresel sürdürülebilirlik, yaşanabilir şehirlerin oluşturulması gibi alanlarda ortaya çıkar [3].

Otopark yönetimi inisiyatiflerini ele alabilen bir yapı hem yerel yönetimlere hem de topluma genel olarak çeşitli avantajlar sağlar. Bu avantajlar, şehir planlamasının daha etkin bir şekilde yapılmasını, ulaşım sistemlerinin daha sürdürülebilir hale getirilmesini ve şehirlerin yaşanabilirlik düzeyinin artırılmasını içerir. Bu nedenle, otopark yönetiminin stratejik bir

şekilde ele alınması, şehirlerin modern ulaşım ihtiyaçlarına uygun hale getirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

2.3. Yerel Yönetimlerde Otopark Stratejileri

Ülkemizdeki çarpık kentleşme ve artan araç sahipliği, kent içi ulaşım ağı sorunlarını hızla artıran temel etmenler arasında yer almaktadır. Artan araç sahipliği ve nüfus, kent içi ulaşım ağının etkin bir şekilde planlanmasını ve yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Yetersiz boş alan, geçmişte yaşanan plansız büyüme, imar planlarının mevcut kentleşmeyle uyumsuzluğu gibi durumlar, kent içi ulaşım altyapısının sorunlu bir hal almasına sebep olmuştur. Uygulamada kent merkezlerindeki fiili durumlar, ekonomik zorluklar ve toplumsal alışkanlıklar da kent içi ulaşım hizmetlerinin verimli bir şekilde sürdürülmesini engelleyen faktörler arasında bulunmaktadır. Bu unsurların bir araya gelmesi, trafik sıkışıklığı, park yeri sorunları ve toplu taşıma sistemlerinin etkili kullanımının önündeki engelleri artırmıştır. Ayrıca ülkemizdeki kent içi alanlarda otomobil trafiğini tetikleyen politikaların varlığı, kent merkezlerinde otopark alanı problemlerini ortaya çıkarır [4].

Kent içi yollarda otopark sorunlarıyla başa çıkabilmek adına Park Yönetimi (PY) çerçevesinde stratejiler geliştirmek zorunluluk haline gelmiştir. PY, günümüz planlama anlayışının yerine alternatif çözümler üreten bir sistem olarak karşımıza çıkmakta ve karşılaşılan sorunları çözmeye yönelik geliştirilen politika, program ve stratejiler olarak tanımlanır. Tüketici seçimleri, kullanıcı bilgilendirmesi, tesis paylaşımı, esneklik, öncelik, ücretlendirme, tesis kalitesi, zirve saat yönetimi ve fayda maliyet analizi gibi stratejiler geliştirerek mevcut sisteme bütüncül bir planlama anlayışı ile yeni bir işlerlik kazandırmak PY'nin kapsamı alanındadır [4].

Ülkemiz belediyelerinin çoğunluğu herhangi bir teknik çalışma ve planlama yapmaksızın, yol kenarı otopark ücretlendirme sistemine geçmişlerdir. Otopark ücretlendirme sistemi için alınan İl Trafik Komisyonu (İTK) ve/veya Ulaşım Koordinasyon Merkezi (UKOME) kararları mahkemeye intikal etmiş ve birçok İdare Mahkemesi'nce iptal edilmiştir. Mahkeme iptal gerekçelerinin başında iki sebep ön plana çıkmaktadır. Bunlar;

- Otopark ücretlendirmesine esas teknik çalışmaların ve planlamaların yapılmaması,
- Otopark ücretlendirmesine esas yol kenarı alanların imar planlarına işlenmemesidir [4].

2.4. Park Yönetimine İlişkin Temel Yaklaşımlar

Literatür araştırmaları ve dünyada uygulanan başarılı örnekler incelendiğinde park yönetimine ilişkin öne çıkan temel yaklaşımlar aşağıda görüleceği şekilde hiyerarşik yapının belirlenmesi, talebin dengelenmesi, park izin bölgelerinin kurulması, sürücülerin park etme davranışlarının yönlendirilmesi, süre ve devirin ayarlanması ve park kurallarının işletilmesi şeklinde sıralanabilir [6].

Hiyerarşi belirlemek; yol dışı otoparklarına ait kapasite geliştirilebilirken yol üstü otoparkları için kapasite artışı söz konusu olamamaktadır, yol üstü otopark yönetimi esasen değişmeyen bir temine dayalı talebin yönetilmesi üzerinedir. Özellikle işlek bölgelerde, birçok kullanıcı gurubu; kamu emniyeti, erişim, hareket, ticaret, yer yapma ve taşıt depolama gibi çeşitli ihtiyaçlardan dolayı yol üstü otoparklarını kullanır.

Talebin dengelenmesi; sosyo-ekonomik yapıda mevcut konut-işyerlerinin oluşturduğu ve arazi kullanımı yapısında park etme davranışlarına göre otopark talebini kapsamaktadır. Talebi etkileyen nedenler park yönetim sisteminin önemli parçalarıdır. Talep, araç sahipliği, alanın

popülerliği, çevrenin kullanım doğası, alternatif ulaşım şekillerinin kullanılabilirliği ve yakıt maliyetleri gibi diğer dış faktörlerden etkilenir.

Park izin bölgelerinin kurulması; belirlenen sınırlı alanlarda bölge karakteristiği ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurulması koşulu ile bazı kullanıcı grupları için kurallar ile avantajlar ve düzenlemeler sağlanarak bölgeler belirlenebilir. Bu bölgeler park izin bölgeleri diye adlandırılırlar.

Sürücülerin park etme davranışlarının yönlendirilmesi; sürücülerin park yeri davranışlarının geliştirilmesi veya yönlendirilmesi park yönetiminin bir görevidir. Park yönetimi neredeyse sürücülerin tercihlerini ve esnekliklerini geliştirmeleri doğrultusunda yönlendirilmesinden ibarettir.

Süre ve devir; park devri ise, bir park yerinin bir saat içerisinde ne sıklıkla boşaldığını, yeniden kullanılabilir hale geldiğini anlatır. Park devri otopark yönetimi için önemli bir kavramdır. Park etme süresi ve devir birbirleri ile direk olarak bağlı kavramlardır. Alanların kullanılabilir hale gelme oranları yani yüksek park döngüsünün olması başka kullanıcılar için yeni fırsatlar anlamına geleceğinden, önemlidir.

Park kurallarının işletilmesi; park kurallarının icrası, park yönetiminin önemli bileşenlerinden biridir. Park kuralları ve sınırlamaları, devir ve erişim gibi park hedeflerini gerçekleştirmek için konur. Kurallar ile sürücülerin park edeceği alanlar gerek yatay gerekse dikey işaretlemeler ile kolay anlaşılır şekilde belirtilmelidir. Birçok uygulamada park yasaklı alanlar ve farklı talep grupları için işaretlemelerde farklı renkler seçilerek vurgu artırılmıştır. Park yönetim stratejilerinin başarısı uygulanan icra ve takip düzeyi ile sıkı bağlıdır. Park cezaları, kurallara uymayı teşvik etmek, park yönetiminin hedeflerine ulaşmasını sağlamak içindir [6].

2.5. Otopark Stratejileri Uygulayan Yerel Yönetim Örnekleri

İstanbul ve Samsun gibi büyük şehirlerde uygulanan otopark stratejileri, yerel yönetimlerin kentsel çevre ve yaşam kalitesini geliştirmeye yönelik çabalarını yansıtmaktadır.

İstanbul Otopark Ana Planı: İstanbul'da güçlü bir otopark altyapısı oluşturmayı amaçlayan bu plan, kentin artan nüfusu ve araç sayısı ile başa çıkabilmek için stratejik yaklaşımlar sunar. Otopark stratejileri, trafik akışını düzenlemeyi, otopark talebini karşılamayı ve şehir içi ulaşımı optimize etmeyi hedefler. Bu sayede kentsel çevre ve yaşam kalitesinin artırılması amaçlanır [7].

Samsun Otopark Ana Planı: Samsun'da yapılan planlama çalışmaları, özellikle trafik sıkışıklığının nedenlerini inceleyerek kentin otopark ihtiyaçlarını belirlemeye odaklanmıştır. Kent merkezindeki otopark talebini karşılayacak şekilde otopark arzının artırılması gerekliliğine vurgu yapar. Bu plan, sürdürülebilir ulaşımı desteklemeyi ve trafik ile ilgili maliyetleri azaltmayı amaçlar [8].

Her iki örnekte de görüldüğü gibi, yerel yönetimler otopark stratejileri geliştirerek kentsel alanlarda daha düzenli, erişilebilir ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemini hedeflemektedirler. Bu stratejiler, şehir içindeki trafik sorunlarına çözüm getirme, otopark taleplerini karşılamak, maliyetleri azaltmak ve yaşam kalitesini artırmak gibi geniş bir perspektifi kapsar.

3. Genel Değerlendirme ve Tartışma

Otopark yönetimi kapsamında oluşturulan stratejilerin hem taşıt sahipliğini etkilemesi hem de ulaştırma türleri arasında tercih yapılabilmesine imkân tanınması sebebiyle, özellikle düşük dolulukla araç kullanımı üzerine her stratejinin ayrı bir etkisi olmaktadır.

Otopark yönetimi ile ilgili üzerinde durulması gereken diğer bir konu da öncelikli olarak, planlanan bütün otopark stratejilerinin hayata geçirilebilmesi ve uygulama esnasında oluşacak sorunlara hızlı bir şekilde çözüm üretebilmesi amacıyla ve ayrıca stratejilerin gerçek durumu yansıtabilmesi için güncel envanter çalışmalarının yapılabileceği, karar alma aşamasında kamunun yetkilendirdiği bir "Otopark Yönetim Birliği'nin oluşturulması gerekliliğidir.

Otopark alanlarının verimli bir şekilde planlanması tasarımı ve kullanılabilirliği şehrin görüntüsüne ve hissine olumlu etki yapacaktır. Böylece gerek ziyaretçilerin gerekse bölge sakinlerinin yaşam kalitesine olumlu katkı sağlayacaktır. Ayrıca şehrin gelişimine ve büyümesine katkı sağlayacak potansiyele sahiptir. Tabi bu durum talep olduğu her noktada, her araca park yeri sağlanması anlamına gelmemektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Otopark stratejileri yerel yönetimler tarafından trafik sıkışıklığını azaltmak, park yerinin bulunabilirliğini artırmak ve şehirlerin daha yaşanabilir hale getirilmesini sağlamak amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Otopark yönetimi sayesinde yerel yönetimler arza ve talebe dayalı sistemleri optimize edilebilir. Sahip olunan deneyimler şehirdeki trafik düzenlemesini de etkiler ve azaltmaya yardımcı olur. Otopark alanlarında boş alanların hızlı bir şekilde bulunmasını ve trafik yoğunluğunun azalmasını sağlar.

Yerel yönetimler, şehirlerin trafik ve otopark çözümleyicileri için çeşitli otopark yöntemleri geliştirebilirler. Bu stratejiler, şehirlerin sermayesi ve kaynaklarına bağlı olarak değişebilir. Ekonomik ve düzenleyici mekanizma ile fiziksel tasarım ve hizmet kalitesi sistemi bir bütün olarak ele alınmalıdır. Ayrıca yönetimde bulunan karar vericinin coğrafik yapı, arazi koşulları, kullanıcı kimliği ve alışkanlıklar ele alarak bölgeye hâkim olması gerekmektedir.

Yerel otopark stratejileri, bir şehir, belediye veya bölgedeki özel pazarlara dayalı olarak maliyetleri planlar ve politikaları ifade eder. Bu stratejiler, yerel yönetimlerin, sivil toplum toplulukların ve diğer katılımcıların bir araya gelerek bölgesel gelişmeyi ve yaşanabilirliği artırmak için benimsedikleri yöntemlerdir.

Benimsenen yöntemlere ilişkin karar alma aşamasında Otopark Yönetim Birliği; otoparklar ve otopark hizmetleriyle ilgili işlemler, otopark ücretleri ve diğer ilgili ortaklar arasında iş birliği ve bilgi paylaşımını teşvik eden bir organizasyon veya kuruluş olabilir. Bu tür bir birlik, otoparklar ve otopark yönetimi yöntemlerini en iyi şekilde işlenmesi ve iyileştirmek için çalışır.

Tüm stratejik kombinasyonların yerelde kendine özgü ve anlamlı bir yapıyı ifade etmesiyle birbirini destekler niteliğe sahip olur. Elde edilen sonuçlar ile otopark sorununa gerçek zamanlı çözüm yöntemi geliştirilmiş olur.

Kaynaklar

- [1] Taş, Celal. *Kent İçi Otoparkların Planlama ve Yönetim Uygulamalarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,2012*
- [2] Litman T.,(2023), Parking Management Strategies, Evaluation and Planning.Victoria Transport Policy Institute, http://www.vtpi.org/park_man.pdf.
- [3] Yardım, Mustafa Sinan. *Bölgesel Otopark Yönetimi ve Stratejileri: Tarihi Yarımada-Eminönü Bölgesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi,2008.*
- [4] Ceylan, H., Gülhan, G., Ceylan, H., Haldenbilen, “*Kentlerimizde Yol Kenarı Otopark Yönetim Stratejilerinin Trafik Dolaşımı Açısından Değerlendirilmesi: Süleymanpaşa İlçesi, Tekirdağ Örneği*” Pamukkale Üniversitesi, 12. Ulaştırma Kongresi, 2017.
- [5] Litman T.,(2023), Parking Management, Comprehensive Implementation Guide, Victoria Transport Policy Institute, https://www.vtpi.org/park_man_comp.pdf
- [6] Tozluoğlu, Çağlar. *Park Yapma Alışkanlıklarının Analiz Edilmesi ve Uygulama Bölgesi İçin Otopark Politikası Önerisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,2017*
- [7] <https://ispark.istanbul/wp-content/uploads/2016/10/istanbul-otopark-ana-plani.pdf>
- [8] <https://samsun.bel.tr/uploads/files/2022/3.pdf>

Paylaşımlı Hareketliliğin Yeni Nesil Ulaşım Anlayışına Etkisi

Ali Ercan^{1*}, Selahattin Koşunalp², Mehmet Tektaş³

¹Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

²Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gönen Meslek Yüksekokulu, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Gönen, Türkiye

³Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma Onyediy Eylül University, Bandırma, Türkiye

*aliercan@ogr.bandirma.edu.tr

0000-0002-5529-0418, 0000-0003-2899-4679, 0000-0001-9564-8069

Özet

Son yıllarda ulaşım çözümlerindeki en iyi argümanlardan birisi olan Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (AUS) yükselişi hızlı bir şekilde devam etmektedir. Tüm dünyada en ilgi çekici ve gelişmeye açık alanlardan olan AUS, artık bir sektör olarak görülmekte ve kabul edilmektedir. Uygulama yelpazesi bir hayli geniş olan AUS'da özellikle pandemi döneminde paylaşımlı hareketlilik çözümleri herkesin oldukça dikkatini çekmiştir. Bu çalışmada, kendisinden fazlaca söz ettiren paylaşımlı hareketlilik üzerine bir araştırma ve sistematik inceleme yapılmış, dünyadaki ve Türkiye'deki uygulamalarına değinilmiştir. Daha sonra paylaşımlı hareketlilik uygulamalarına dair çeşitli veriler paylaşılmış, kıyaslamalar yapılmış ve söz konusu uygulamaların yeni nesil ulaşım tercihleri üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Genel hatlarıyla konu hakkında bilgiler verildikten sonra değerlendirmeler ve çıkarımlar yapılmıştır. Ayrıca ülkemizde de gelişmeye en açık alanlardan birisi olduğu için sonuçlardan yola çıkılarak birtakım öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri; paylaşımlı hareketlilik; araç paylaşımı; yolculuk paylaşımı; mikro hareketlilik

The impact of shared mobility on the new generation of transportation conception

Abstract

The rise of Intelligent Transportation Systems (ITS), one of the best arguments in transportation solutions in recent years, continues rapidly. ITS, which is one of the most interesting and open to development areas all over the world, is now seen and accepted as a sector. In ITS, which has a wide range of application, shared mobility solutions have attracted the attention of everyone, especially during the pandemic period. In this study, a research and systematic review was conducted on shared mobility, which is widely talked about, and its applications in the world and in Turkey were mentioned. After that, various data on shared mobility applications were shared, comparisons were made, and the impact of these applications on new generation transportation preferences was explained. After giving general information about the subject, evaluations and inferences were made. In addition, since it is one of the areas most open to development in our country, some suggestions have been presented based on the results.

Keywords: Intelligent transportation systems; shared mobility; car sharing; ride sharing; micromobility

1. Giriş

Ulaşım insanlar için vazgeçilmez ihtiyaçlar arasındadır. Ulaşımı sadece insanların hareketi ile sınırlı olarak düşünmemek gerekir. Ürünlerin hareketini -yük ve lojistiği- de hesaba katacak olursak konunun ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde yapılan yatırımlardan en büyük payı alan sektörlerden birisi ulaşımdır. Ulaşım sektörü ülkelerin gelişimi konusunda bir kaldıraç görevi görmektedir. Nüfus ve şehirleşmenin artmasına paralel olarak araç sayısındaki artış ve yeni dinamiklerin ortaya çıkması, ulaşımın klasik anlayıştan daha farklı bir şekilde ele alınması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Zira artan araç sayısına bağlı olarak trafik yoğunluğu ve yakıt tüketimi artmış, ulaşım kaynaklı emisyon oranlarında ciddi yükselmeler görülmüştür. Çevreye verilen zararın azaltılması için yeni yollar arayışına girilmiştir. Ayrıca insanların daha konforlu, ekonomik, hızlı ve güvenli seyahat etme talebi yeni çözümlerin üretilmesine neden olmuştur. Her alanda olduğu gibi bu noktada da teknoloji en büyük yardımcı görevini üstlenmiştir. Geçtiğimiz yüzyılda büyük değişimler yaşayan ulaşım sektörü bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmeler sonrasında büyük dönüşümlere de uğramıştır. Teknolojik zeki çözümlerin kullanılmasıyla Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kavramı ortaya çıkmıştır. AUS sayesinde yolculuk sürelerinde azalma sağlanmış, trafik güvenliği artırılmış, var olan yol kapasiteleri daha etkin ve verimli kullanılmaya başlanmış, çevreye verilen zarar azaltılmış ve hareketlilikte (mobilitede) bir artış sağlanmıştır [1].

Son zamanlarda mobil uygulamalar ve hücresel haberleşmenin önemli katkısıyla hareketlilikte artış yaşanmaktadır. Özellikle son yıllarda paylaşım ekonomisi gittikçe popülerliğini artırmaktadır. Bu trend kendisini araç paylaşımı, yolculuk paylaşımı, mikro hareketlilik (bisiklet ve skuter paylaşımı) ve bunların bir kombinasyonu olan MaaS (Mobility as a Service- Bir Hizmet Olarak Hareketlilik) olarak ulaşım sektöründe göstermektedir. Bu uygulamaların tamamı paylaşımli hareketlilik olarak isimlendirilmektedir. Araç sahibi olurken yüksek edinim maliyetleri, bakım masrafları, yüksek sigorta ve kasko ücretleri, özellikle büyükşehirlerdeki otopark problemleri vb. durumlar insanların tercihlerinde dönüşümlere neden olmaktadır. Bahsedilen sorunlar nedeniyle özellikle genç nesil araç sahipliği yerine ihtiyacı oldukça kullanacağı araçları tercih etme eğilim göstermektedir. Bunların yanında insanlar trafikte zamanı boşa harcamak, araçla uğraşmak yerine bilgi-eğlence servisleri (infotainment services) ile vakit geçirmeyi daha çok tercih etmektedirler.

AUS konusunda yıkıcı-yenilikçi teknolojiler ve uygulamalardan birisi olan paylaşımli hareketlilik sürdürülebilir kentsel yaşam için önemli bir kavramdır. Paylaşımli hareketlilik ile daha çevreci ve ekonomik bir sürüş, özellikle yaşlılar, engelliler ve çocuklar gibi dezavantajlı gruplar için de hareketlilik artışı gibi farklı faydalar vadedilmektedir. Ayrıca toplu taşıma kullanmak yerine bireysel araçların sunduğu konfordan vazgeçmek istemeyen bireyler için araç, sürüş ya da yolculuk paylaşımı oldukça iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilindiği gibi 2019-2022 yılları arasında tüm dünya COVID-19 pandemisinin etkisiyle ciddi dönüşümler yaşamıştır. Bu süreçten olumsuz yönde en çok etkilenenlerden birisi de ulaşım sektörü olmuştur. İnsanlar bulaş riski nedeniyle kalabalık ortamlara girmeye çekindiği için toplu taşıma ve paylaşımli araçların kullanılma oranlarında dramatik düşüşler gözlemlenmiştir. Örneğin Türkiye için yapılan bir çalışmadaki verilere göre 1,5 yıllık salgın sürecinde Ankara ve İstanbul'da toplu taşıma yolcu sayısında yaklaşık %45'lik bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Hatta bazı zamanlarda %80 civarında bir talep düşüşü yaşandığı göz önüne alınırsa toplu taşımanın ne denli etkilendiği anlaşılabilir [2]. Buna karşılık bireysel araç edinme ve kullanım oranlarında da artışlar meydana gelmiştir. Ancak bu sürecin geçici olduğu söylenebilir.

Pandemiden normal hayata geçiş tamamlandıkça toplu ulaşım ile araç ve sürüş paylaşımı kullanımı artmıştır.

Paylaşımlı hareketlilik gelişmiş birçok ülkede ulaşım alanında gündemin ilk sıralarındaki yerini almaktadır. AUS'a ilişkin olarak son dönemlerde gerçekleştirilen birçok önemli kongre ve etkinlikte paylaşımlı hareketlilik başlığı programa dâhil edilmektedir. 2022 yılında ABD'nin Los Angeles kentinde düzenlenen ve Ulaşım ile Dönüşüm ana temalı AUS Dünya Kongresi'ndeki başlıklar arasında Adil ve Sorunsuz Hareketlilik ve Girişten Son Mile Kadar Hareketlilik de yerini almıştır [3]. 2021 yılında Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından düzenlenen '12. Ulaştırma ve Haberleşme Şûrası Sonuç Bildirisi'nde Finans Yönetimi başlığı altında "Mikro hareketliliğe yönelik yatırımların desteklenmesi için talep bazlı araç ve yolculuk paylaşım sistemlerinin yaygınlaştırılması" da öncelik olarak benimsenmiştir [4]. Ayrıca Şûra'nın 3 ana teması Lojistik, Dijitalleşme ve Mobilite'dir [5]. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yayınlanan "Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı" nda yer alan uzun dönemli hedefler arasında "Araç ve sürüş paylaşımı, mikro hareketlilik ve benzeri alternatif son kilometre ulaşım uygulamalarına ilişkin mevzuat çalışmalarının yapılması" da yer almaktadır [6]. Paylaşımlı hareketlilik, politika belgelerinde yer alacak kadar önemli bir konudur. Paylaşımlı hareketliliği bu kadar önemli kılan nedenlerden birisi de hiç şüphesiz sağladığı ekonomik getirilerdir. PwC tarafından yapılan bir araştırmada araç paylaşımının da yer aldığı yeni iş modelleri üzerine kurulan ve 5 sektörde faaliyet gösteren paylaşım ekonomisi şirketlerinin 2013 yılındaki gelirleri 15 milyar \$ iken bu rakamın 2025 yılında 335 milyar \$ olacağı tahmin edilmektedir [7]. Bu verilere bakıldığında paylaşımlı hareketlilik sayesinde ülkeler bir yandan yakıt tüketimi ve trafikte geçirilen zamandan tasarruf sağlarken diğer yandan da ekonomik olarak da ciddi kazançlar elde etmektedir. AUS konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde ajandadaki ilk üç maddenin elektrikli araçlar, hareketlilik ve bağlantılı ve otonom araçlar olduğunu söylemek hiç zor olmayacaktır.

Bu bildiride paylaşımlı hareketlilik üzerine detaylı bir çalışma yapılmıştır. 2. bölümde paylaşımlı hareketliliğe giriş yapılarak Dünya ve Türkiye uygulamalarından bahsedilmiştir. Paylaşımlı hareketliliğin yeni nesil ulaşım tercihleri üzerindeki etkisi detaylıca 3. bölümde sunulmuştur. Son bölümde ise yapılan analizler neticesinde ulaşılan sonuçlar ve gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Genel olarak, bu makalenin paylaşımlı hareketlilik alanında çalışacaklara iyi bir referans çalışma olması hedeflenmiştir.

2. Paylaşımlı Hareketlilik

2.1 Genel Bir Bakış

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan AUS Terimler Sözlüğüne göre paylaşımlı hareketlilik, "otomobil veya bisiklet gibi bir ulaşım modunun aynı anda veya sıralı olarak birden fazla kişi tarafından ulaşım amaçlı kullanılması" olarak tarif edilmektedir [8]. Paylaşımlı hareketlilik, "kullanıcıların ulaşım modlarına "gerektiğinde" kısa süreli erişime sahip olmalarını sağlayan bir aracın, bisikletin veya başka bir modun ortak kullanımı" olarak da tanımlanabilir [9].

Avrupa'da ve ABD'de yüksek orandaki bireysel araç sahipliğiyle birlikte tek kişilik seyahat oranları yüksektir. Bu ülkelerde enerji tüketiminin yaklaşık olarak üçte birinden ulaştırma sektörü sorumludur [10]. Birleşmiş Milletler Habitat III politika raporuna göre, şehirlerdeki araçlar yolcu ve yük taşımacılığı açısından verimsiz kullanılmaktadır. Özel araçlar zamanın

yaklaşık %95'inde park halinde beklemektedir. Genellikle sürücü ve 4 yolcu koltuğu bulunan bu araçların hareket halindeyken doluluk oranları ise 2'nin çok altında kalmaktadır [11]. 2007 yılında araç başına ortalama doluluk oranları Doğu Avrupa ülkelerinde 1,8, Batı ülkelerinde ise 1,54 kişi olarak kayda geçmiştir [12]. Bu oran 2017 yılında ABD için 1,5 olmuştur [13]. Paylaşım ekonomisinin gelişim göstermesi ve hareketlilikte dijitalleşmenin artmasıyla araç sahipliğinin azaltılması, araçların kapasitelerinin daha verimli kullanılması gibi faydalar sağlanabilir [11].

Araç paylaşım modelleri her ne kadar yeni bir fikir gibi görünse de aslında geçmişi çok eskilere uzanmaktadır. Araç paylaşım programlarının Avrupa'daki geçmişi 20. yüzyılın ortalarına kadar dayanmaktadır. 1948 yılında İsviçre'nin Zürih şehrinde tanıtılan program bu konuda ilktir. İlerleyen yıllarda ise Avrupa'da Almanya, Fransa, Hollanda, İsveç, Birleşik Krallık gibi ülkelere de yayılmıştır. Bu konudaki ilk örnekler kâr amacı gütmeyen ve gönüllüler tarafından gerçekleştirilen hizmetler olarak göze çarpmaktadır. Daha sonra kâr amacı güden şirketler tarafından insanların kısa süreli kullanımına sunulan araç hizmetleri ortaya çıkmıştır. ABD'de ise araç paylaşımı konusundaki ilk deneyimler 1980'li yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda Mobility Enterprise ve STAR (Short-Term Auto Rental) projeleri ortaya çıkmıştır. İlk araç paylaşım sistemleri Asya'da 1990 yılında, Avustralya'da ise 2003 yılında başlamıştır. Kanada'daki ilk örnekler ise 1994 ve 1997 yıllarında ortaya çıkmıştır. Çin, Malezya, Japonya ve Singapur gibi dünyada en hızlı gelişen ve en yoğun nüfuslu şehirlere sahip Asya ülkelerinde araç paylaşım sistemlerine karşı yoğun bir ilgi bulunmaktadır. Araç paylaşım sistemleri 5 kıtada 30'dan fazla ülke üzerinde hizmet vermektedir [13,14].

Statista 2022 yılı Aralık ayı verilerine göre, dünya çapında paylaşımlı hareketlilik segmentindeki gelirin 2023'te 1,56 trilyon ABD Dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. 2027 yılına kadar pazar hacminin 1,79 trilyon ABD Doları olması beklenmektedir. Bu da gelirin yıllık %3,50'lik bir büyüme oranı (CAGR 2023-2027) göstermesi anlamına gelmektedir. Paylaşımlı araçların 2023 yılında tahmini 1,10 trilyon ABD doları pazar hacmiyle pazarın en büyük segmenti olması öngörülmektedir. Paylaşımlı araç kullanıcı sayısının 2027 yılına kadar yaklaşık 5,07 milyar kullanıcıya ulaşması beklenmektedir. Paylaşımlı hareketlilikte, 2027 yılına kadar toplam gelirin %66'sının çevrimiçi satışlardan elde edilmesi öngörülmektedir. Küresel karşılaştırmada ise gelirin çoğunun Çin'de elde edileceği beklenmektedir (2023'te 419,50 milyar ABD doları) [15]. Bu rakamlar incelendiğinde paylaşımlı hareketliliğin büyük bir gelecek vadettiği kolayca söylenebilir.

2.2 Paylaşımlı Hareketlilik Uygulamaları

Toplu taşımadan araç paylaşımına, taksilerden bisiklet paylaşımlarına kadar farklı uygulamaları kapsayan paylaşımlı hareketliliğin, kentsel ulaşım ağının önemli bir parçası olduğu kolayca ifade edilebilir. Paylaşımlı hareketlilik hizmet modelleri Şekil 1'de de gösterildiği gibi 5 başlık altında toplanabilmektedir [16].

Paylaşımlı Hareketlilik Hizmet Modelleri				
Üyelğe dayalı self- servis modeller	Kişiden kişiye (P2P) self- servis modeller	Üyelik gerektirmeyen self- servis modeller	Kiralık hizmet modelleri	Toplu ulaşım sistemleri
<ul style="list-style-type: none"> Bisiklet paylaşımı Araç paylaşımı Araç havuzu Talebe bağlı yolculuk paylaşımı Skuter paylaşımı Minibüs havuzu 	<ul style="list-style-type: none"> Bisiklet paylaşımı Araç paylaşımı 	<ul style="list-style-type: none"> Bisiklet paylaşımı Araç kiralama Günlük araç havuzu 	<ul style="list-style-type: none"> Kargo hizmetleri Özel taksiler/ Limuzinler/Bisiklet taksiler Talebe bağlı araç paylaşım hizmetleri Taksiler/İnternet aracılığıyla araç çağırma 	<ul style="list-style-type: none"> Toplu ulaşım Mikro ve alternatif toplu ulaşım hizmetleri (Mikrotransit, Paratransit (Ara toplu taşıma) ve Servis Araçları)

Şekil 1. Paylaşımlı hareketlilik hizmet modelleri.

2.3 Paylaşımlı Hareketlilik Dünyaya Uygulamaları

Avrupa Birliği 1957 yılında kurulan ve farklı zamanlardaki katılımlarla 27 üyeye ulaşmış bir birliktir. Çok devletli bir yapıya sahip olan birliğin, ulaşım sistemleri konusunda birlikte çalışabilirliği ve entegrasyonu sağlamak için çeşitli çalışmaları bulunmaktadır. Vatandaşların hareketliliğini kolaylaştırmak ve artırmak öncelikli alanlardır. 2010/40/EU Direktifinde, vatandaşların hareketlilik ihtiyaçlarını karşılanırken karayolu ağının genişlemesiyle tıkanıklık, enerji tüketimi, sosyal ve çevresel sorunların da arttığı ifade edilmektedir. Ayrıca Birlik için uygun çözümlerin bulunması konusunda inovasyonun önemli olduğu belirtilmektedir [17].

2020 yılında yayımlanan “Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi”nde, hareketliliğin herkes için fayda sağladığını ve önemli olduğunu ancak sera gazı emisyonu, çevre kirliliği, trafik kazaları ve sıkışıklık gibi bedeller ödendiği de ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra hareketliliğin; çevreci hale getirilmesi, herkes için mümkün ve uygun fiyatlı olmasının gerektiği belirtilmektedir. 2030 yılına kadar AB’de en az 30 milyon sıfır emisyonlu aracın yollarda olacağı, 100 şehrin iklim nötr olacağı, Birlik dahilinde 500 km altında tarifeli toplu seyahatin karbon nötr olacağı, otomatik hareketliliğin yaygınlaştırılacağı ifade edilmektedir [18]. Birliğe dahil olan ülkelerde ulaşımı daha çevreci ve ulaşılabilir hale getirmek için yapılan çalışmalarda paylaşımlı hareketliliğin önemi büyüktür. 2020 yılı verilerine göre AB’de bin kişiye düşen otomobil sayısı 560’ dır. İlk 3 sırayı bin kişide 731 araçla İzlanda, 682 ile Lüksemburg ve 670 ile İtalya paylaşmaktadır [19].

Avrupa Birliğindeki 27 üyeye ilave olarak Birleşik Krallık, Norveç ve İsviçre’yi kapsayan 2022 yılı Avrupa pazarına ilişkin Fluctuo tarafından yayımlanan “European Shared Mobility Index – 2022” raporuna göre; 2018 yılından beri yaklaşık 600.000 adet istasyonsuz (dockless) skuter, bisiklet ve moped sahada konuşlandırılırken, paylaşımlı hareketlilik giderek daha popüler hale gelmiş ve 2022 yılının sonuna kadar toplam 850.000 adet paylaşımlı araca ulaşılmıştır. Bir önceki yıl yaklaşık 200 yeni paylaşımlı hareketlilik servisi başlatılmış ve Avrupa kıtasında 550 milyon rekor yolculuk -ki bu da günde ortalama 1,5 milyon seyahate denk gelmekte- ile yaklaşık 3,1 milyar Euro gelir sağlanmıştır.

Skuterlerin bazı şehirlerde durumları ve liyakatleri sorgulansa da Avrupa’daki paylaşımlı araçların yarısından fazlasına tekabül eden 480.000 adetlik sayılarıyla ve yapılan tüm paylaşımlı yolculukların yarısına karşılık gelen seyahat oranlarıyla paylaşımlı hareketlilikte

başat rol oynamaktadır. Araçların %18'ini tüm seyahatlerin de %30'unu oluşturan istasyon tabanlı bisikletler (docked) paylaşımlı hareketliliğin en etkin şeklidir ve oldukça dikkat çekicidir.

Paylaşımlı hareketlilik konusunda bazı ülkelerden örnekler verecek olursak, araç paylaşımının giderek güçlendiği Almanya paylaşımlı araçlar için en gelişmiş pazarlardan birisi konumundadır. Son zamanlarda araç paylaşımı lehine uygulanan park kanunları uygulamaları cazip hale getirmiştir. Hollanda, kişi başına düşen ortalama 1,3 bisiklet oranıyla dünyada kişi başına en fazla bisiklete sahip ülke olarak bilinmektedir. Bunun yanı sıra ülkede çok sayıda paylaşımlı bisiklet bulunmaktadır. Kişisel bisikletlerin popülaritesi paylaşımlı bisikletlerin büyümesini olumlu ya da olumsuz anlamda çok fazla etkilememiştir. Hollanda'da ana yolların %86' sından fazlası bisiklet altyapısına sahip durumdadır. Bu değerle endekste yer alan ülkelerin ortalamasının iki katından fazlasına sahip olan ülke, Avrupa'nın en iyi bisiklet ağlarından birisini geliştirmiş durumdadır. Birleşik Krallıkta Londra'da ise 2022 yılında TIER, Lime ve Dott operatörleri tarafından ortalama 2,5 km'lik ortalama yolculuk mesafesi ile 1,5 milyonun üzerinde yolculuk gerçekleştirilmiş olup 3,75 milyon km yolculuğa karşılık gelmektedir [20]. NABSA (The North American Bikeshare & Scootershare Association- Kuzey Amerika Bisiklet Paylaşımı & Scooter Paylaşımı Derneği) tarafından yayımlanan "3RD ANNUAL Shared Micromobility State of the Industry Report" raporuna göre, 2021 yılında tahmini olarak 298 şehirde (ABD'de 273, Kanada'da 19 ve Meksika'da 6 şehir) en az bir adet bisiklet paylaşım veya e-skuter sistemi var iken, 97 şehirde ise her ikisi sistem de bulunmaktadır. Kuzey Amerika'da 2021 yılında paylaşımlı mikro hareketlilik araçlarıyla yaklaşık olarak Kanada'da 12,9 milyon, ABD'de 107,6 milyon, Meksika'da 7,5 milyon olmak üzere toplam 128 milyon yolculuğun yapıldığı tahmin edilmektedir [21]. Araç paylaşımında 2027 yılında kadar ABD'deki kullanıcı sayısının 6 milyona ulaşması beklenmektedir [22]. Kanada'da ise bu sayının 2027 yılında 1,08 milyona ulaşması beklenmektedir [23].

2.4 Paylaşımlı Hareketlilik Türkiye Uygulamaları

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de araç paylaşımı, yolculuk paylaşımı, skuter paylaşımı ve bisiklet paylaşımı uygulamaları bulunmakta ve her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde araç paylaşımı konusunda Zipcar, Moov, Tiktak, Rentiva, Yoyo gibi uygulamalar bulunmaktadır. Yolculuk paylaşımı konusunda ise, Uber, BlaBlaCar, Voltlines, Twogo gibi uygulamalar hizmet vermektedir. Skuter paylaşımına dair bilgiler 3.3. no'lu başlıkta paylaşılmaktadır. Bisiklet paylaşım programlarına ise İsbike, Bisim, Antbis, Kobis, Çabis, Sakbis, Marvelos, Pakbis, Manbis, Espedal, Nilesplit, Rodostobis, Kaybis, SivBis ve Gazibis örnek verilebilir.

- İstanbul'da faaliyet gösteren İsbike, 2018 yılında yapılmış olup 150 istasyon, 2250 park yeri ve 1500 bisiklet ile hizmet vermektedir [24].
- İzmir'de bulunan Bisim, 18 Ocak 2014 tarihinde kurulmuş olup 35 istasyon, 735 park yeri ve 500 bisiklet ile hizmetine devam etmektedir. Bugüne kadar sistemde yaklaşık 3 milyon adet kiralama gerçekleşmiştir [24,25].
- Antalya'da hizmet veren Antbis programında 9 istasyon, 90 bisiklet ve 132 park ünitesi bulunmaktadır [26].
- Kocaeli'nde faaliyet gösteren Kobis, 12 ilçede, 74 istasyon, 864 park yeri ve 535 bisiklet ile hizmet vermektedir [27].
- Çanakkale'de bulunan Çabis, 14 istasyon, 4 mobil istasyon, 120 park alanı ve 92 bisiklet ile 2016 yılından beri hizmet vermektedir [28].

- Sakarya'da hizmet veren Sakbis, 2019 yılında kurulmuş olup 15 istasyon, 150 park yeri ve 110 bisiklet ile faaliyet göstermektedir [24].
- Marmaris'te bulunan Marvelos programında, 11 istasyon, 99 park yeri ve 66 bisiklet bulunmaktadır [29].
- Denizli-Pamukkale'de bulunan Pakbis, 8 istasyon, 96 park alanı ve 64 bisiklet ile hizmet vermektedir [30].
- Antalya Manavgat'taki Manbis, 2017 yılında kurulmuş olup 5 istasyon, 60 park yeri ve 40 bisiklet ile çalışmaktadır [24].
- Eskişehir Tepebaşı'nda bulunan Espedal, 2018 yılında hizmete sunulan, Türkiye'de ilk kez akıllı ve elektrikli modellerin yer aldığı sistemiyle 4 istasyonda 30 bisiklet ile hizmet vermektedir [31].
- Bursa Nilüfer'deki Nilesplit programı, 33 istasyon, 388 park yeri ve 228 bisiklet ile faaliyetine devam etmektedir [32].
- Tekirdağ Süleymanpaşa'da yer alan Rodostobis, 2017 yılında yapılmış olup 5 istasyon, 46 park yeri ve 30 bisiklet ile hizmet vermektedir [24].
- Kayseri'deki Kaybis, 90 kilometrelik bisiklet yolu, 57 istasyon ve 650 adet bisiklet ile faaliyet göstermektedir [33].
- Sivas'ta bulunan SivBis, 6 istasyonda 60 bisiklet ile hizmet vermektedir [34].
- Gaziantep'teki Gazibis programında, 7 istasyon ve 160 bisiklet bulunmaktadır [35].

3. Paylaşımlı Hareketliliğin Yeni Nesil Ulaşım Tercihleri Üzerindeki Etkisi

Ulaşım sistemleri belki de otomobilin icadından beri en büyük dönüşüm ve devrimin yaşandığı bir dönemden geçmektedir. Ulaşım kaynaklı yaşanan olumsuzluklar, yeni ortaya çıkan ihtiyaçlar, iklim değişikliği ve enerji açığı gibi küresel sorunlar sonucu yeni nesil ulaşım tercihleri hızla gelişen teknolojinin de yardımıyla yeni nesil ulaşım araçlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır [36]. Bu bölümde ulaşımın geleceği ve yeni nesil ulaşım araçlarına değinildikten sonra ortaya çıkan yeni nesil ulaşım tercihleri hakkında bilgi verilecektir. Ardından da paylaşımlı hareketlilik açısından dünya ve ülkemizdeki uygulamalar hakkında karşılaştırmalı yorum yapılacaktır.

3.1 Ulaşımın Geleceği ve Yeni Nesil Ulaşım Araçları

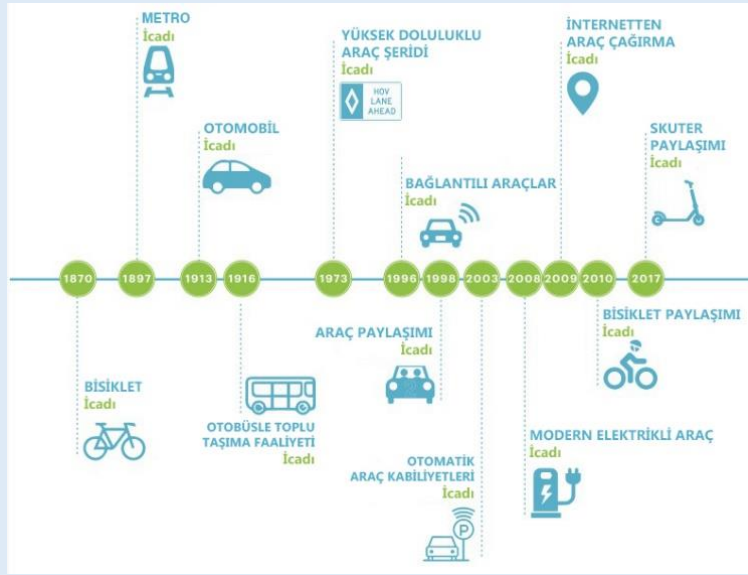
Uzun yıllar sonra ulaşım sistemlerinin ve araçlarının tam olarak nasıl olacağını bilmek güç olsa da teknolojinin gelişim seyrine bakarak kolayca tahmin yürütülebilmektedir. İklim değişikliği ve sürdürülebilirlik, toplumsal ve ekonomik faktörler, ulaşımında eşitlik ve halk sağlığı gibi konuların ulaşımın geleceğine etkisi oldukça büyüktür. Ulaşımına özgü mevcut ve yeni gelişen temalar; bağlantılı ve otonom araçlar, sıfır emisyonlu araçlar, araç paylaşımı, bisiklet paylaşımı, yolculuk paylaşımı, alternatif toplu ulaşım hizmetleri, paylaşımlı hareketlilikte kamu-özel ortaklıkları ve veri paylaşımı, yük ve malların hareketi olarak sıralanabilmektedir [36].

Ulaşım inovasyonunda akıllı teknoloji, elektrifikasyon ve özerlik (otonomi) ortak temalardır [37]. Otonom ve bağlantılı araçlar, Maglev treni, uçan taksiler, otonom hava araçları, sürücüsüz arabalar, sürücüsüz trenler ve otobüsler, otonom servis araçları (shuttle), teslimat

dronları, hyperloop (hiper döngü), elektrikli skuter ve bisiklet gibi mikro hareketlilik araçları, yer altı yolları, akıllı yollar yeni nesil ulaşım araçları ve teknolojileri arasında sayılabilir.

3.2 Yeni Nesil Ulaşım Tercihleri

20. yüzyılın ikinci yarısında, ulaşım politikaları daha çok kişisel araç sahipliği ve kullanımı üzerinde dururken, toplu taşıma, yürüme, bisiklet ve taksi gibi diğer modların kullanımına ikinci derecede önem verilmiştir. Ancak teknolojiye yaşanan son yenilikler geleneksel ulaşım modellerini değiştirmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi ulaşım seçenekleri açısından değerlendirildiğinde son 6 yılda meydana gelen değişiklikler, son 60 yılda yaşananlardan çok daha fazladır. Teknolojik yeniliklerin ulaşım alanına dahil olmasıyla doğasında kâr elde etme amacı olan özel sektörün bu alana katılımını cazip hale gelmektedir. Böylece yolcular telefon gibi akıllı cihazları kullanarak araç çağırabilmekte, paylaşımlı araca, skutere veya bisiklete erişebilmektedir [38].



Şekil 2. Zaman içinde ulaşım modları ve hizmetlerindeki gelişmeler

Ulaşım trendlerinin ve tercihlerinin değişmesine teknolojik gelişmeler neden olurken, Covid-19 salgını gibi eşi benzeri görülmemiş olaylar da alışkanlıkların farklılaşmasına yol açabilmektedir. Teknoloji insanlara uzaktan çalışma şansı sunarken korona virüs pandemisi bunu iyi bir tercih haline getirmiştir. Pandemi, e-ticaretin uzun yıllar içinde kat edeceği mesafeyi birkaç yıla sığdırmış ve insanların temastan kaçındığı bu süreçte teslimat yöntemlerinin (dron, otonom robotlar vb.) çeşitlenmesini sağlamıştır. Bu tür gelişmeler ulaşım sistemlerinin gelişimini ve yönetim biçimini değiştirmiştir [38].

Kentler bünyesinde yüksek nüfus barındıran ve birçok fonksiyonun yerine getirildiği, insanların yaşamlarını sürdürdüğü büyük alanlardır. Ulaşım, insanların çeşitli ihtiyaçlarını gidermesinde temel yapıtaşlardan birisidir. Sürdürülebilir ulaşım sistemleri için tek seferde çok fazla yolcunun taşınabildiği toplu ulaşım sistemleri önemli bir görevi yerine getirmektedir. Ancak en son yaşadığımız Covid-19 salgınında da tecrübe ettiğimiz gibi toplu taşıma salgınının kısa sürede hızla yayılmasına sebep olmaktaydı. Bunun sebebi doğrudan insan sayısı ile ilgilidir. Kapalı alanlarda çok kişiyle yapılan seyahatler hastalığın yayılım riskini artırmaktadır. Pandemi döneminde ulaşım ağlarının kullanımında ciddi azalmalar görülmüştür. En büyük düşüşler,

toplular ulaşım sistemlerinin kullanımında yaşanmıştır. Bu dönemde maddi kısıtlar, kendi aracının olmaması gibi sebeplerle toplu taşımayı kullanmak zorunda olmayan kişiler, özel araçlarıyla, yürüyerek ya da bisiklet gibi araçlarla seyahat etmeyi tercih etmişlerdir [39]. Özellikle bu süreçte mikromobilite araçları tercih sebebi olmuştur. Yaygınlaşan bisiklet, e-skuter gibi araçlar, kişisel tercih olmaktan çıkıp toplumsal bir tercih haline gelmiştir. Bu araçların kullanımı üniversite kampüslerinde de yaygınlaşmıştır.

21. yüzyılın ulaşım sorunlarını ve kullanıcı taleplerini 20. yüzyılın yöntemleriyle çözmek günümüz için uygun bir seçenek olmaktan hızla uzaklaşmaktadır. Yıkıcı ve yenilikçi teknolojiler her geçen gün daha fazla hayatımıza dokunmaktadır. Bağlantılı ve kişiselleştirilmiş servislere yönelik kullanıcı beklentileri hizmet sağlayıcıların yeni çözümler sunmasını gerektirmektedir. Covid-19 pandemisinde insanların kalabalık ortamlardan kaçınması ve hibrit çalışma modelleri de çözümler konusunda bir katalizör görevi görmüştür. Günümüzde kullanıcılar, dijitalleştirilmiş, ihtiyaçlarının ve tercihlerinin dikkate alındığı esnek, erişilebilir, modern ve konforlu hizmetler talep etmektedir. İnsanların geleceğin toplu taşıma ve ulaşım hizmetlerinden beklentilerini şu şekilde sıralayabiliriz.

- Kesintisiz ve akıcı: Dinamik yolculuk planlama yapılabilen, modlar arası bağlantısı olan, birleştirilmiş ödeme seçeneklerine sahip, yolculuklara rehberlik eden dijital çözümler.
- Kişiyeye göre hazırlanmış: Müşterileri tanımanın ötesine geçip onları anlayan, nereye ne zaman gitmek istediklerine göre rota ve ücret bilgisini içeren uygun seçenekler.
- Duyarlı: Sabit tarifeler ve güzergahlar yerine, bireysel ihtiyaçlara göre esnek hizmetler.
- Erişilebilir ve eşitlikçi: Hareket kısıtlılığı bulunanlar, dezavantajlı gruplar ve düşük gelirli kişilerin kullanabildiği sistemler.
- Talebi yansıtan: Hizmet verdikleri yeri anlayan hizmetler.
- Kamusal değerlerle uyumlu: Çevresel ve sosyal etkileri dikkate alan hizmetler.
- Fiyata duyarlı: Makul fiyatlı, diğer modlarla rekabet edebilen hizmetler.

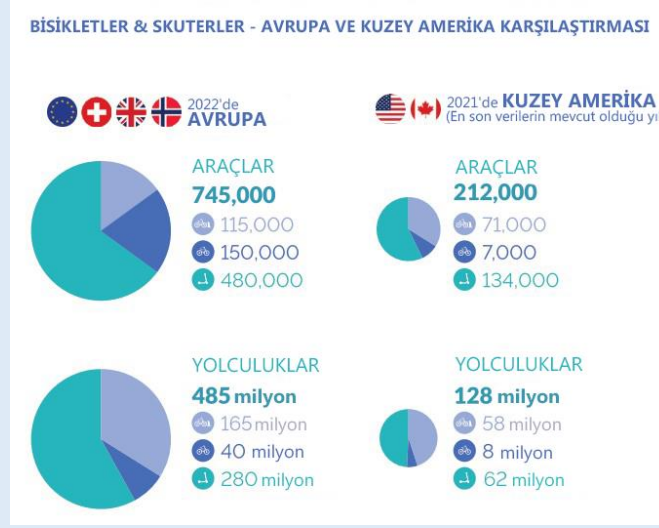
Bazı ülkeler gelecekteki talebi yönetmek için "15 dakikalık şehirler" (20 veya 30 dakikalık şehirler olarak da isimlendirilebilir) gibi alternatif şehir planlama kavramları üzerinde çalışmaktadır. 15 dakikalık şehir konseptinde, şehir sakinlerinin yaya olarak, bisikletle veya toplu taşıma araçlarıyla 15 dakika içinde işlere ve lokal hizmetlere erişmesi hedeflenmektedir. Bu noktada paylaşımlı hareketlilik hizmetleri oldukça uygun seçenekler arasındadır [40].

3.3 Paylaşımlı Hareketlilik Açısından Dünya ve Türkiye Uygulamalarının

Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde Dünya'dan ve Türkiye'den paylaşımlı hareketlilik uygulamalarına ve bu uygulamalara dair verilere yer verilmişti. Bu bölümde de söz konusu veriler ışığında Dünya'daki ve Türkiye'deki paylaşımlı hareketlilik uygulamalarına dair karşılaştırmalı yorumlar yapılacaktır. 2022 INRIX Global Traffic Scorecard raporuna göre trafik sıkışıklığına bağlı olarak yaşanan yıllık 156 saatlik gecikme ile Londra ilk sırada yer almıştır. İstanbul'da ise yılda 89 saatlik bir gecikme süresi ölçülmüş ve Asya şehirleri içerisinde zirvede yer almıştır [41]. Bu süre her ne kadar Londra'ya kıyasla az görünse de hiç azımsanmayacak bir kayıptır. Bu iki şehrin ortak noktaları yüksek nüfus oranları, otobüs ve araç sayılarının yüksek olmasıdır.

Kullanılabilir araçlara ve yolculuk sayılarına bakıldığında Avrupa'daki paylaşımlı hareketlilik pazarının ilerleyen yıllarda da büyüme potansiyeline sahip olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 3'te paylaşılan Avrupa ve Kuzey Amerika'daki bisiklet ve skuter sayılarına bakıldığında Avrupa'nın paylaşımlı hareketlilikte oldukça iyi olduğu görülmektedir. NABSA ((North American Bike and scooter Share Association -Kuzey Amerika Bisiklet ve Skuter Paylaşım Derneği) verilerine göre, 2021 yılında Kuzey Amerika'da 212.000 paylaşımlı skuter ve bisiklet bulunurken yıl boyunca en az 128 milyon yolculuk yapılmıştır. Fluctuo tarafından ise 2022 yılında Avrupa'da 745.000 skuter ve bisiklet ile 485 milyon yolculuk yapıldığı tahmin edilmektedir ki bu sayı Kuzey Amerika'dakinden %279 daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bu değerler Avrupa'yı paylaşımlı hareketlilikte en büyük ve en rekabetçi pazar haline getirmektedir [20].



Şekil 3. Avrupa ve Kuzey Amerika – Bisiklet ve skuter sayıları ve yolculukları

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı Ulaştırma Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden 2023 yılı Mayıs ayında alınan verilere göre Türkiye'de 2022 yılında toplam 96.436 adet paylaşımlı skuterle yapılan 2.840.496 adet sürüş ile 6.938.777 km mesafe katedilmiş olup toplam süre ise 23.281.893 dakikadır. Rakamlar Kuzey Amerika ve Avrupa'ya göre düşük kalsa da coğrafi olarak ülke bazlı düşünüldüğünde bizdeki rakamların çok kötü olmadığını söyleyebiliriz. Çünkü Avrupa için veriler 30 ülkeden 100 şehir üzerinden hesaplanmış, Kuzey Amerika için ise 3 ülkeden yüzlerce şehir üzerinden hesaplanmıştır. Türkiye'deki veriler ise 30'a yakın şehir üzerinden değerlendirilmiştir. Genel bir değerlendirme yapabilmek için Türkiye, Avrupa ve Kuzey Amerika için hesaplanan ortalama skuter ve yolculuk sayıları Tablo 1'de paylaşılmaktadır.

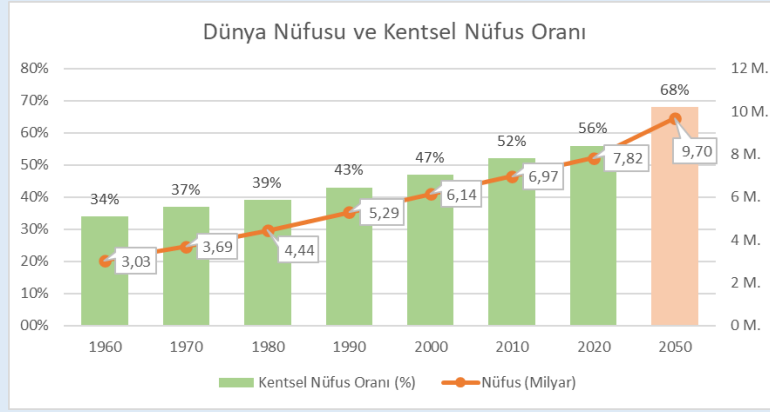
Tablo 1. Türkiye-Avrupa-Kuzey Amerika için ortalama skuter ve yolculuk sayıları

	Türkiye Ortalaması	Avrupa Ortalaması	Kuzey Amerika Ortalaması
Skuter sayısı	3.444 (28 şehir ortalaması)	4.800 (100 şehir ortalaması)	450 (298 şehir ortalaması)
Yolculuk sayısı	109.250 (26 şehir ortalaması)	2.800.000 (100 şehir ortalaması)	208.054 (298 şehir ortalaması)

Avrupa'da İngiltere, Fransa, Almanya, Hollanda gibi gelişmiş ülkelerde yaygın toplu ulaşım ağı bulunmaktadır. Bisiklet yolları konusunda gelişmiş bir altyapı vardır. Ayrıca, paylaşımlı hareketlilik uygulamaları yaygın olarak kullanılmakta olup bu konuda öncü ülkeler sayılabilirler. Bu ülkelerin dışındaki birçok Avrupa ülkesinde de paylaşımlı bisiklet, elektrikli skuter ve araç paylaşımı gibi uygulamalar bulunmaktadır. Amerika'da toplu ulaşım ağı coğrafyanın büyüklüğü nedeniyle ülkenin her yerinde aynı seviyede değildir. Paylaşımlı hareketlilik hizmetleri ise Avrupa'nın bulunduğu noktaya henüz ulaşmamıştır. Bazı büyük şehirlerde bisiklet, elektrikli skuter ve araç paylaşımı hizmetleri bulunmaktadır. Ülkede yerleşim geniş bir coğrafya üzerine dağıldığı için bireysel araç sahipliği oldukça yüksektir. Türkiye'de ise toplu ulaşım hizmetleri büyükşehirlerde gelişmiş olsa da ülkenin her yerinde aynı olduğunu söylemek güçtür. Bisiklet altyapısı birçok şehirde yaygınlaştırılmaya çalışılsa da bisiklet kullanımı hala istenilen düzeyde değildir. Bu durum illerin fiziki altyapısı ve arazi yapısına göre değişmektedir. Paylaşımlı bisikletler ve skuterler ülkemizde oldukça yeni uygulamalar olsa da özellikle pandemi döneminde yoğun ilgi görmüş olup gençler arasında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

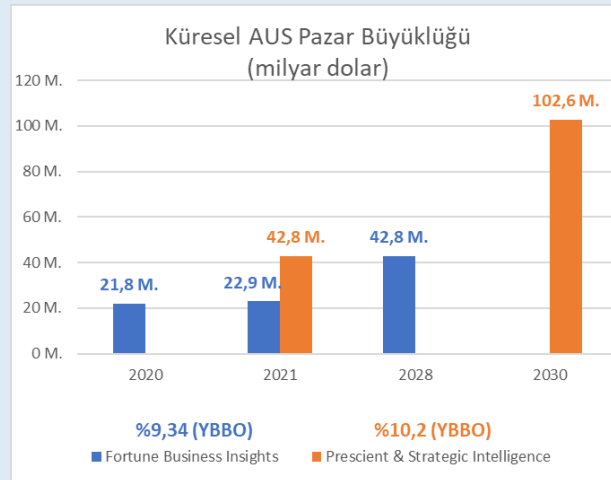
3.4 Paylaşımlı Hareketlilik İçin Genel Değerlendirmeler ve Gelecek Projeksiyonu

Bilindiği gibi dünya nüfusu her geçen gün artmakta, şehirlerde yaşayan insan sayısı ciddi rakamlara ulaşmaktadır. Bu durumu daha iyi anlatabilmek için Dünya Bankası tarafından paylaşılan veriler derlenmiş ve Şekil 4' te sunulmuştur. Şekilden de görüleceği üzere 2050 yılında dünya nüfusunun 2/3'den fazlasının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir [42–45]. Şehirlerde yaşayan insan sayısına bağlı olarak araç sayısı da benzer bir şekilde artmaktadır. TÜİK verilerine göre 2023 yılı Mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı 27 milyon 334 bin 424 olarak kayıtlara geçmiştir [46]. Bu artışın sonucu olarak da özellikle fosil yakıtlı araçlar nedeniyle sera gazı emisyonlarında olumsuz etkiler yaşanmaktadır.



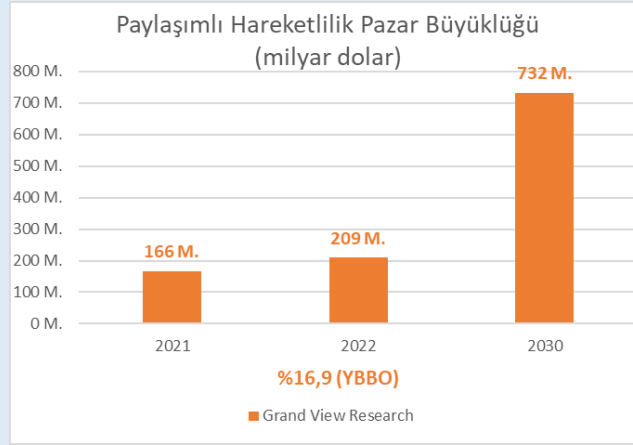
Şekil 4. Yıllara göre dünya nüfusu kentleşme oranı

Pek çok ülke ulaşım kaynaklı emisyonları azaltmak için politika ve stratejiler geliştirmekte, AUS gibi teknolojiden yararlanan yeni ve kullanışlı çözümler üretmektedir. Dünya genelinde gittikçe yaygınlaşan AUS'un pazar hacmi de her geçen gün büyümektedir. Fortune Business Insights'ın 2022 yılı Şubat ayında, Prescient & Strategic Intelligence'in 2020 yılı Eylül ayında yayımlanan raporlarına göre küresel AUS pazar büyüklüğü Şekil 5'te gösterilmektedir [47,48].

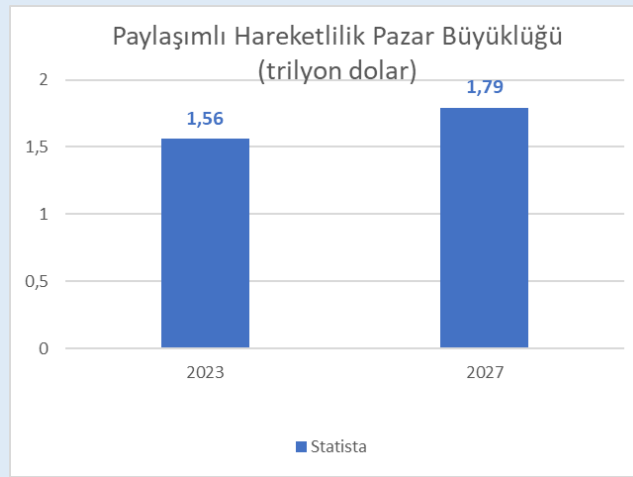


Şekil 5. Küresel AUS Pazar büyüklüğü

AUS'a dair bunlara benzer pek çok çalışma yapılmaktadır. Raporlarda kullanılan bileşenler, baz alınan yıllar, kapsam vb. özelliklere göre farklı gerçekleştirmeler ve tahminler paylaşılmaktadır. Rakamlar birbirinden farklılık gösterse de dikkat çekici olan şey AUS sektörünün büyüklüğü ve vaat ettiği gelecektir. AUS kapsamındaki en önemli başlıklardan birisi paylaşımlı hareketlilik uygulamalarıdır. Dünyada dijital çağ yaşanmaktadır. Çağın gereği olan teknoloji yoğun çözümleri barındıran paylaşımlı hareketlilik uygulamaları da oldukça rağbet görmektedir. Yine paylaşımlı hareketlilik pazarına ait Grand View Research şirketinin raporuna ilişkin bilgiler Şekil 6' da Statista'nın verilerine ait bilgiler ise Şekil 7'de gösterilmektedir [15,49]. İki grafik incelendiğinde rakamlar arasında ciddi bir fark hemen göze çarpmaktadır. Bunu temel nedeni Statista verileri kapsamına toplu ulaşımında dahil edilmesidir.

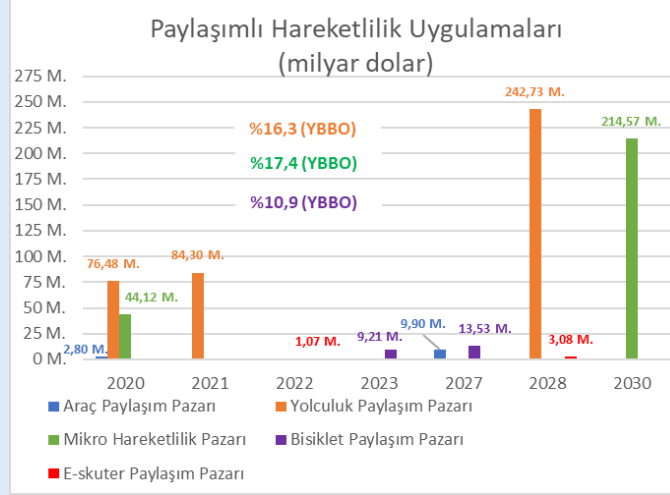


Şekil 6. Grand View Research raporuna göre paylaşımlı hareketlilik pazar büyüklüğü



Şekil 7. Statista verilerine göre paylaşımlı hareketlilik pazar büyüklüğü

Bildirinin bu bölümünde paylaşımlı hareketlilik uygulamaları anlatılmış ve pazar büyüklüklerine ait çeşitli bilgiler paylaşılmıştı. Research and Markets'in 2022 tarihli araç paylaşımı, Fortune Business Insights'in Aralık 2021 tarihli küresel yolculuk paylaşımı, Allied Market Research'ün 2022 Ocak ayı mikro hareketlilik, Statista'nın bisiklet paylaşımı ve Grand View Research'ün küresel e-skuter paylaşımı pazarı büyüklüğüne dair bilgiler Şekil 8'de bir arada verilmekte ve tüm bu uygulamaların bugünü ve geleceğine dair bir projeksiyon sunulmaktadır [50–54].



Şekil 8. Paylaşımlı hareketlilik uygulamaları pazar büyüklüğü

4. Sonuç Değerlendirme ve Öneriler

Teknoloji baş döndürücü bir hızla ilerlemekte ve her şey bundan payına düştüğü ölçüde etkilenmektedir. Özünde teknoloji bulunan akıllı ulaşım sistemlerinde de pek çok yenilik meydana gelmektedir. Sahada gelişmiş özelliklere sahip ekipmanlar ile hizmet sunulmakta, kullanıcılar dijitalleşmenin etkisiyle daha mobil hale gelmekte, hizmet sağlayıcılar ise ürün yelpazelerini genişletmektedir. Akıllı Ulaşım Sistemlerinde pek çok yenilikçi uygulamalar ortaya çıkmaktadır. Bunlardan bir tanesi de paylaşımlı hareketlilik uygulamaları ve araçlarıdır. Bu uygulama ve araçların ülkemizde doğru bir şekilde gelişmesi ve insanların faydalanabilmesi için birtakım düzenlemelerin yapılması ve tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Ülkemizde araç paylaşımı ve yolculuk paylaşımı konularında mevzuat bakımından yeni düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanıcıların daha iyi hizmet alabilmelerini sağlamak, yeni girişimlerin ortaya çıkmasına fırsat tanımak ve bu alandaki oyuncuların bireysel araç, taksi, dolmuş, otobüs gibi araçlarla eşit şartlarda rekabet edebilmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Çeşitli kaygılarla bu tür düzenlemelerin ertelenmemesi gerekmektedir. Teknolojinin karşısında duran anlayış eninde sonunda kaybetmeye mahkumdur. Bir tek araca bile sahip olmayan Uber milyonlarca dolar kar elde etmektedir. Ülkemizde de bu tür yerel uygulamaların ortaya çıkması için politika yapıcıların gerekli sorumluluğu üstlenmesi beklenmektedir. Buradan yola çıkarak önümüzdeki yıllarda ürün veya malların getirdiği katma değer kadar mobil yazılımların da büyük bir gelecek vadettiğini söyleyebiliriz. Bu tür araç paylaşım uygulamalarının ülkemizde geliştirilmesi, kullanılması ve diğer ülkelere pazarlanması için karar vericiler tarafından kolaylaştırıcı ve teşvik edici önlemler alınmalıdır.

Türkiye’de mikro hareketlilik araçlarına özellikle de skutere ilgi her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde bu alanda regülasyonu sağlamak için yönetmelik çalışması yapılmış olmasına rağmen uygulamada birçok sorun hala devam etmektedir. E-skuterlerin yaya yollarında sürülmesi yasak olsa da günlük hayatta bu konuda ihlal oranı oldukça yüksektir. Skuterlerin gelişigüzel yerlere park edilmesi yayaları, dükkân sahiplerini, dezavantajlı grupları rahatsız etmektedir. Ayrıca kaldırımında sürülen skuterler yayalar açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. İster kaldırımında ister yollarda kullanılsın skuterler ile yapılan kazalarda ciddi yaralanmalı ve ölümlü sonuçlar yaşanmaktadır. Bunların bir sonucu olarak da Avrupa’da

paylaşımlı skuter sistemlerinin faaliyet gösterdiği ilk şehir olan Paris'te 2023 yılında bir referandum yapılmış ve sandıktan %90 oranla skuterlerin yasaklanması sonucu ortaya çıkmıştır. Ülkemizde de bu konuda hazırlanan mevzuatın geliştirilmesine, skuter kullanıcılarına eğitimlerin verilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Skuter kullanıcılarının gerekli güvenlik önlemini almadan, koruyucu ekipmanlar giymeden kullanmasına ve kaldırımlardan ilerlemelerine engel olacak şekilde düzenlemeler yapılmalıdır.

Bisiklet paylaşım programlarının sayısı son yıllarda artsa da ülkemizde bisiklet kullanımı yeterli seviyede değildir. Coğrafi koşulların oldukça etkin rol oynadığı bisiklet konusunda eğimin az olduğu büyükşehirlerde daha fazla bisiklet yolunun yapılması, bisiklete binmenin bir hobi olmaktan ziyade ulaşım aracı seviyesine getirilmesi gerekmektedir. Bunun için de yerel yönetimlerin gerekli altyapıya yatırım yapması beklenmektedir. Ayrıca bisiklet kullanımını özendirici ve teşvik edici tedbirler zaman kaybetmeden devreye alınmalıdır.

Kıt kaynakların daha verimli kullanılabilmesi için paylaşım sistemlerine daha fazla şans verilmelidir. Türkiye'de kullanılan araçların ve akaryakıtın büyük bir kısmının yurtdışından ithal edildiği göz önüne alındığında paylaşım araçlarının ülke ekonomisine büyük fayda getireceği oldukça açıktır. Her geçen gün daha fazla kirlenen dünyada araç paylaşımının çevreye olumlu katkı sağlayacağı kuşku götürmez bir gerçektir. En büyük emisyon kaynaklarından birisinin ulaşım sistemleri olduğu düşünülürse trafikten ne kadar fazla araç çekilirse karbon salınımı o kadar azalacak, yaşanabilir ve sürdürülebilir çevre hedeflerine daha fazla yaklaşılacaktır.

Eğlenmeyi seven, öğrenmeye önem veren Z kuşağı bir şeye sahip olmaktan ziyade, ihtiyaç duyduğu şeylere gerektiğinde ulaşmayı ve kullanmayı daha fazla tercih etmektedir. Örneğin trafikte araç sürerek vakit kaybetmek yerine o araçta yolcu olmayı ve "Infotainment" yani bilgi eğlence servisleri ile vakit geçirmeyi tercih etmektedirler. Bu nedenle genç kuşağın bu eğilimini karşılayacak yolculuk paylaşımı gibi hizmetlerin ileride daha da revaçta olacağı hesaba katılarak sorumlular tarafından gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Pandemi döneminde her sektöre yansıyan olumsuz durumlar paylaşım araçları için de geçerli olmuştur. Ancak bu durumun geçici olduğunu unutmamak gerekmektedir. Paylaşımlı araçlara talep bu süreçte azalsa da sonradan toparlanmış ve eski seviyelerine dönmüştür.

Bu çalışmanın çeşitli bölümlerinde paylaşım araçlarının pazar büyüklüğüne yer verilmiştir. Ülkemizin bu pastadan hak ettiği payı alabilmesi, gençlere yeni istihdam alanlarının oluşturulabilmesi ve teknoloji ihraç eden bir seviyeye gelinebilmesi için yeni stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ilgili kurum ve kuruluşların taşın altına elini koyması ve gerekli çalışmaları vakit kaybetmeden yapması gerekmektedir.

Özetleyecek olursak ülkemizde paylaşım hareketlilik uygulamalarını geliştirmek için bisiklet yollarının yapımı ve genişletilmesi, bisiklet park alanlarının yapılması, paylaşım otopark alanlarının oluşturulması gibi altyapıya ilişkin çalışmaların yapılması gerekmektedir. Araç paylaşım uygulamaları için gerekli yasal düzenlemeler yapılmalı, bu alanda faaliyet gösterecek firmalar için de teşvik mekanizmaları devreye sokulmalıdır. Paylaşım hareketlilik uygulamaları için, karar vericilerin, uygulayıcıların, hizmet sağlayıcıların ve kullanıcıların iş birliği yapması sürecin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için çok önemlidir.

Araç paylaşımı kadar otopark paylaşımı da oldukça önemlidir. Özellikle metropollerde yaşanan park sıkıntıları düşünülecek olursa konunun ciddi bir şekilde ele alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kurumların ya da kişilerin otoparklarını rezervasyon imkanları da sunarak

paylaşması trafik sıkışıklığını hafifletmekte, park yeri aramak için harcanan zamanı azaltmakta oldukça faydalı olacaktır. Böylece kullanıcılara ek gelir elde edilmesi imkânı da sunacaktır.

Ayrıca çeşitli analizlerin yapılabilmesi ve geleceğe dönük planlamaların yapılabilmesi için sahadan veri toplanması, analiz edilmesi ve şeffaf bir şekilde paylaşılması da oldukça faydalı olacaktır. Geçmişte neler yapıldığını değerlendirmek, gelecek için de tahminlerde bulunabilmek için istatistik veri analizi kültürünün ülkemizdeki tüm kurum ve kuruluşlarda yaygınlaştırılması zorunludur. Verilerin toplanması ve paylaşılması noktasına bir standardı sağlayabilmek için kapsamlı bir veri kanunu hazırlanmalıdır.

Sonuç olarak, dijital çağın ulaşımdaki yansıması olan paylaşımli hareketlilik uygulamalarında ülkemizin küresel rekabet edebilirliğine katkı sağlayacak ve bu alandaki pazar payını arttıracak yerli ve milli teknolojiyi kullanan uygulamaları çoğaltmak gerekmektedir. Paylaşımli hareketlilik uygulamalarında yerli ve milli teknoloji uygulamaların sayısını arttırmak için tüm mekanizmaların (teşvik paketleri, Ar-Ge desteği, kolaylaştırıcı mevzuatlar, proje destekleri, teknokentlerin artırılması, vergi muafiyeti vb.) aktif olarak kullanılması son derece önemlidir.

Kaynaklar

- [1] M. Tektaş, N. Tektaş, Akıllı Ulaşım Sistemleri(AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı, Akıllı Ulaşım Sist. ve Uygulamaları Dergisi. 2 (2019) 2. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/44655/547872>.
- [2] E. KORKMAZ, Investigation of the Effect of the COVID-19 Epidemic Period on Public Transportation Systems by Survey Method, Afet ve Risk Derg. 5 (2022) 247–260. <https://doi.org/10.35341/afet.1060291>.
- [3] ERTICO, ITS World Congress Los Angeles 2022 - ERTICO Newsroom, (n.d.). <https://erticonetwork.com/event/its-world-congress-los-angeles-2022/> (accessed October 24, 2022).
- [4] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası Sonuç Bildirisi, (n.d.).
- [5] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 12. Ulaştırma ve Haberleşme Şurası Sunumu, 2021. <https://sgb.uab.gov.tr/uploads/pages/suralar/12-ulasirma-ve-haberlesme-surasi-sunum.pdf>.
- [6] T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı, (2020).
- [7] PwC, Sharing or Paring?, Soc. Serv. Rev. 47 (1973) 95–102. <https://doi.org/10.1086/642933>.
- [8] UAB - HGM, Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimler Sözlüğü, (n.d.). <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-terimleri-sozlugu.pdf>.
- [9] S.A. Shaheen, A. Bansal, N. Chan, A. Cohen, Mobility and the sharing economy: Industry developments and early understanding of impacts, Low Carbon Mobil. Futur. Cities. (2017) 213–240. https://doi.org/10.1049/PBTR006E_ch10.
- [10] S. Gabrielli, P. Forbes, A. Jylhä, S. Wells, M. Sirén, S. Hemminki, P. Nurmi, R. Maimone, J. Masthoff, G. Jacucci, Design challenges in motivating change for sustainable urban

- mobility, Comput. Human Behav. 41 (2014) 416–423. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.026>.
- [11] UN HABITAT III, United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development; Policy Paper 9, 2016.
- [12] D. Magliocchetti, M. Gielow, F. Devigili, G. Conti, R. De Amicis, Ambient Intelligence on Personal Mobility Assistants for Sustainable Travel Choices, J. Ubiquitous Syst. Pervasive Networks. 4 (2012) 1–7. <https://doi.org/10.5383/jusp.04.01.001>.
- [13] C.A.S. Machado, N.P.M. de S. Hue, F.T. Berssaneti, J.A. Quintanilha, An overview of shared mobility, Sustain. 10 (2018) 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10124342>.
- [14] M. Alarçin, Paylaşım ekonomisinde otomobil paylaşım niyetini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma, 2021.
- [15] Shared Mobility - Worldwide | Statista Market Forecast, (n.d.). <https://www.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/worldwide> (accessed January 29, 2023).
- [16] Shared Mobility: Current Practices and Guiding Principles: Chapter 2. Overview of Shared Mobility Services, (n.d.). <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop16022/ch2.htm> (accessed February 8, 2023).
- [17] R. Smith, Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010, Core EU Legis. (2015) 352–355. https://doi.org/10.1007/978-1-137-54482-7_33.
- [18] European Commission, AB Sürdürülebilir ve Akıllı Hareketlilik Stratejisi, (2020) 1–30. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/ab-surdurulebilir-ve-ak-ii-hareketlilik-stratejisi-tr.pdf>.
- [19] Euronews, Avrupa’da kişi başına kaç araç düşüyor? Türkiye’de durum ne?, (n.d.). <https://tr.euronews.com/2022/08/05/avrupada-kisi-basina-kac-arac-dusuyor-turkiyede-durum-ne> (accessed April 19, 2023).
- [20] Flucto, European Shared Mobility Index-2022, n.d. <https://european-index.fluctuo.com/>.
- [21] NABSA, Shared Micromobility State of the Industry Report, (2022) 21. <https://nabsa.net/2021/08/05/2020industryreport/>.
- [22] Car-sharing - United States | Statista Market Forecast, (n.d.). <https://www.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/shared-rides/car-sharing/united-states> (accessed April 27, 2023).
- [23] Car-sharing - Canada | Statista Market Forecast, (n.d.). <https://www.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/shared-rides/car-sharing/canada> (accessed April 27, 2023).
- [24] Baksi, Baksi Akıllı Bisiklet Paylaşım Sistemleri, (n.d.). <http://www.baksi.com.tr/other/katalog.pdf> (accessed April 29, 2023).
- [25] Bisim, Bisim | Bisim Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi, (n.d.). <http://www.bisim.com.tr/> (accessed April 29, 2023).

- [26] Antbis, Ana Sayfa | Antalya Büyükşehir Belediyesi Antbis Akıllı Bisiklet Sistemi, (n.d.). <http://antbis.com/> (accessed April 29, 2023).
- [27] Kobis, KOBİS | Kocaeli Bisikletli Ulaşım Sistemi, (n.d.). <https://www.kobis.com.tr/> (accessed April 29, 2023).
- [28] Çabis, Çabis Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi, (n.d.). <https://cabis.canakkale.bel.tr/> (accessed April 29, 2023).
- [29] Marvelos, Marmaris Belediyesi Marvelos Akıllı Bisiklet Sistemi, (n.d.). <https://marvelos.com/> (accessed April 29, 2023).
- [30] Pakbis, Pakbis Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi, (n.d.). <https://pakbis.com/> (accessed April 29, 2023).
- [31] Tepebaşı Belediyesi, Espedal 30 Bisiklet 4 İstasyon ile Hizmet Veriyor, (n.d.). <https://www.tepebasi.bel.tr/hd.asp?hid=11487> (accessed April 29, 2023).
- [32] Nilesplit, Nilesplit Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi, (n.d.). <https://nilesplit.com/> (accessed April 29, 2023).
- [33] Kayseri Ulaşım, Hakkında, (n.d.). <https://www.kayseriulasim.com/tr/FaaliyetAlanlarimiz/kaybis/hakkında> (accessed April 29, 2023).
- [34] SivBis, Sivas Akıllı Bisiklet Kiralama Sistemi, (n.d.). <https://sivbis.sivas.bel.tr/main/index> (accessed April 29, 2023).
- [35] Gaziulaş, Gaziantep Ulaşım ve Bilişim Hizmetleri A.Ş. - Kiralama ve Müsaitlik Durumu, (n.d.). <https://gaziulas.com.tr/hizmetler/gazibis-bisiklet-kiralama/musaitlik-durumu> (accessed April 29, 2023).
- [36] A. Shaheen, H. Stocker, Future of Mobility White Paper, UC Berkeley UCCONNECT. (2018) 1–118. <https://doi.org/10.7922/G2WH2N5D>.
- [37] Geotab, The future of transportation: Where will we go? | Geotab, (n.d.). <https://www.geotab.com/blog/future-of-transportation/> (accessed April 30, 2023).
- [38] U.S. Department of Transportation FHWA, The Transportation Future: Trends, Transportation, and Travel, (2021). https://www.fhwa.dot.gov/policy/otps/TPS_2020_Trends_Report.pdf.
- [39] E. Erkek, S.N. Çabuk, Covid-19 Pandemi Sürecinde Toplu Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi, GSI Journals Ser. B Adv. Bus. Econ. 3 (2021) 17–31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1358718>.
- [40] R.J. Simonetta, KPMG Future of public transport, Public Transp. Int. 49 (2022) 52. <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2022/11/future-of-public-transport.html>.
- [41] B. Pishue, 2022 INRIX Global Traffic Scorecard, (2023) 12–13. <https://inrix.com/scorecard/#form-download-the-full-report>.
- [42] U. Nations, Population | United Nations, (n.d.). <https://www.un.org/en/global-issues/population> (accessed October 25, 2022).
- [43] UNO, World Urbanization Prospects, 2019.

<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.

- [44] The World Bank, Population, total | Data, (n.d.). <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (accessed July 12, 2023).
- [45] The World Bank, Urban population (% of total population) | Data, (n.d.). <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?contextual=default> (accessed July 12, 2023).
- [46] TÜİK Kurumsal, (2023). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Mayis-2023-49426> (accessed July 12, 2023).
- [47] Intelligent Transportation System [ITS] Market Size | Growth, 2028, (n.d.). <https://www.fortunebusinessinsights.com/intelligent-transportation-system-market-102065> (accessed November 20, 2022).
- [48] Intelligent Transportation System Market Growth Insights, 2022-2030, (n.d.). <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/intelligent-transportation-system-market> (accessed November 21, 2022).
- [49] Global Shared Mobility Market Size Report, 2022 - 2030, (n.d.). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/shared-mobility-market> (accessed November 21, 2022).
- [50] R. and Markets, Carsharing: Global Strategic Business Report, (n.d.). <https://www.researchandmarkets.com/reports/5139733/carsharing-global-strategic-business-report> (accessed February 28, 2023).
- [51] F.B. Insights, Ride Sharing Market Size, Share, Growth & Forecast [2028], (2021). <https://www.fortunebusinessinsights.com/ride-sharing-market-103336> (accessed March 7, 2023).
- [52] Micromobility Market Size, Share, Growth, Analysis, Report 2030, (n.d.). <https://www.alliedmarketresearch.com/micro-mobility-market-A11372> (accessed March 12, 2023).
- [53] Bike-sharing - Worldwide | Statista Market Forecast, (n.d.). <https://www.statista.com/outlook/mmo/shared-mobility/shared-rides/bike-sharing/worldwide> (accessed April 1, 2023).
- [54] G.V. Research, E-Scooter Sharing Market Size & Trends Report, 2028, (n.d.). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/e-scooter-sharing-market-report> (accessed April 8, 2023).

Derin Öğrenme Yöntemi YOLOv8'in Çoklu Nesne Algılama Performansı

Şerife Gülsüm Demir^{1*}, Turan Arslan²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Bursa, Türkiye

*serifegulsum@uludag.edu.tr

0000-0003-2393-9304, 0000-0003-1313-3091

Özet

Son yıllarda derin öğrenme yöntemlerinin hızlı gelişimi, bu yöntemlerin farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Bu yöntemler, ulaşım alanında da geniş kullanım alanları bulmuştur. Özellikle akıllı ulaşımın öne çıkmasıyla bu alandaki araştırmalar hız kazanmıştır. Örneğin, nesnelerin algılanması otonom araçların trafikte daha güvenli bir şekilde seyahat etmeleri açısından önemlidir. Bu araçlar, çevrelerindeki nesnelere hassas bir şekilde algılayabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu amaçla, derin öğrenme yöntemleri güçlü bir çözüm sunar. Bu araştırma, YOLO algoritmasının en güncel sürümü olan ve YOLOv5 modelini de yaratan Ultralytics yazılım kütüphanesi tarafından geliştirilen YOLOv8 modelinin nesne algılamadaki etkinliğini değerlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda YOLOv5 ve YOLOv8 algoritmalarının nesne algılamadaki etkinlikleri ölçülmüştür. Bu doğrultuda farklı trafik senaryolarını ve çevresel koşulları içeren geniş bir veri kümesi toplanmıştır. Bu veri kümeleri, otonom sürüş araştırmalarında sıkça kullanılan KITTI (Karlsruhe Institute of Technology and Toyota Technological Institute tarafından mobil robotik ve otonom sürüşte kullanım için geliştirilen veri kümesi) ve BDD100K (Berkeley Artificial Intelligence Research Lab tarafından üretilen çeşitli sürüş video veri kümesi) gibi veri kaynaklarından türetilmiştir. Toplanan veriler, on iki sınıf tanımlanarak (otomobil, motosiklet, kamyon, yaya, bisiklet, trafik ışığı, kırmızı trafik ışığı, yeşil trafik ışığı, sarı trafik ışığı, otobüs, bisiklet sürücüsü, motosiklet sürücüsü) etiketlenmiştir. Bu araştırma, derin öğrenme yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilen çoklu nesne algılama çalışmalarına kıyasla daha fazla sınıf etiketi içermekte ve en güncel YOLO modelini kullanarak performansını değerlendirmektedir.

Anahtar kelimeler: Nesne Algılama, Derin Öğrenme, YOLO

The Multi-Object Detection Performance of the Deep Learning Method YOLOv8

Abstract

In recent years, the rapid advancement of deep learning methods has led to their widespread use in various fields. These methods have also found extensive applications in the transportation sector. With the prominence of Intelligent Transportation Systems, research in this area has gained significant momentum. For instance, the perception of objects has become crucial for the safe navigation of autonomous vehicles in traffic. These vehicles must

be capable of accurately detecting objects in their surroundings. Deep learning methods offer a robust solution for this purpose. This study evaluates the effectiveness of the YOLOv8 model, the most recent version of the YOLO algorithm, and the YOLOv5 model created by the Ultralytics software library, in object detection. To achieve this goal, the performance of the YOLOv5 and YOLOv8 algorithms is measured. To this end, a comprehensive dataset containing various traffic scenarios and environmental conditions has been collected. These datasets are derived from data sources commonly used in autonomous driving research, such as KITTI (a dataset developed by the Karlsruhe Institute of Technology and Toyota Technological Institute for mobile robotics and autonomous driving) and BDD100K (a diverse driving video dataset produced by the Berkeley Artificial Intelligence Research Lab). The collected data has been annotated with labels for twelve classes, including car, motorcycle, truck, pedestrian, bicycle, traffic light, red traffic light, green traffic light, yellow traffic light, bus, bicycle rider, and motorcycle rider. This research includes a larger number of class labels compared to multi-object detection studies conducted using deep learning methods and evaluates its performance using the latest YOLO model.

Keywords: Object Detection, Deep Learning, YOLO

1. Giriş

Günümüzde yapay zekâ yetenekleri sunan akıllı sistemler, genellikle makine öğrenimine dayanmaktadır [1]. Bu bağlamda, derin öğrenme karmaşık problemleri çözmek için çok sayıda katman ve parametre içeren bir sinir ağı yapısını kullanarak makine öğreniminin önemli bir alt dalıdır [2]. Derin öğrenme birden fazla işlem katmanından oluşan hesaplama modellerinin kullanılmasına olanak tanır ve bu katmanlar yükseldikçe, öğrenilen kavramlar daha soyut ve yüksek düzeyli hale gelir [3] [4]. Derin öğrenme tekniklerindeki ilerlemeler, bilgisayarlı görü alanında nesne tespiti, nesne takibi ve görüntü segmentasyonu gibi alanlarda önemli gelişmeler sağlamıştır [5]. Nesne algılama ve izleme, bilgisayarlı görünümün en önemli ve zorlu dallarından biridir ve trafik gözetim, otonom sürüş, şerit takip sistemleri vb. gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır [6]. Bu gibi uygulamalar ile karayolu ortamını izleyerek güvenliği artırmayı amaçlayan trafik gözetim sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli gelişmeler sağlanmaya başlamıştır [7]. Örneğin doğru ve hızlı bir nesne tespiti son zamanların popüler teknolojilerinden biri olan otonom sürüş için yapılan araştırmalarında sıkça konusu olmuştur [8]. Otonom araçların çevrelerindeki nesnelere doğru bir şekilde algılayarak, araç hızını, yönünü ve diğer hareketlerini doğru bir şekilde ayarlaması gerekmektedir [9], [10]. Otonom araçlar için nesne algılama sadece güvenlik açısından değil, aynı zamanda sürüş konforu ve verimlilik açısından da büyük önem taşır [11]. Araçların etrafındaki nesnelere doğru bir şekilde algılaması, sürücülerini yorgunluk ve stres gibi faktörlerden kurtararak sürüş deneyimini daha keyifli hale getirebilir [12]. Ayrıca nesne algılama teknolojileri, araçların yakıt verimliliğini artırarak, araçların enerji tüketimini azaltabilir [13]. Sonuç olarak, otonom araçlar için doğru ve etkili bir nesne algılama sistemi, sürüş güvenliği, konforu ve verimliliği açısından büyük önem taşır [14]. Bu nedenle, araştırmacılar otonom araçların nesne algılama performansını artırmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadır [15], [16], [17], [18].

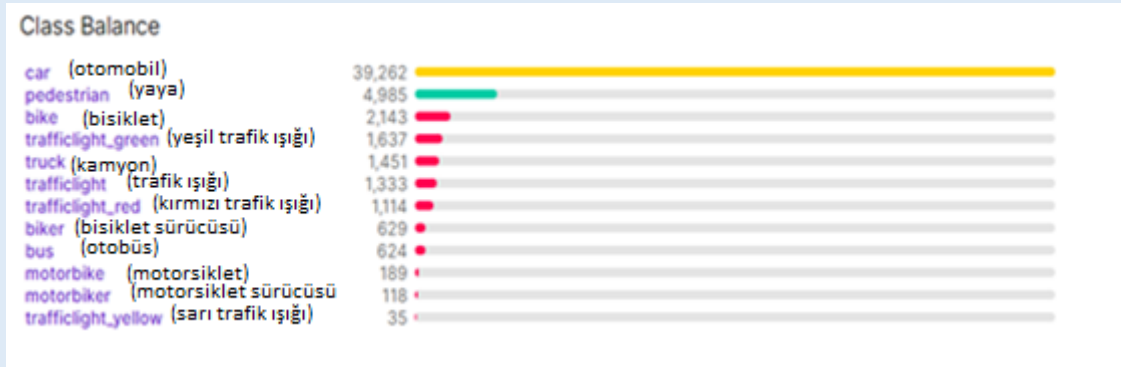
Son zamanların en popüler derin öğrenme yöntemlerinden biri olan YOLO (You Only Look Once) bir nesne tespit ve sınıflandırma modelidir ve genellikle bilgisayarla görme ve nesne algılama görevlerinde kullanılır [19]. Örneğin, otonom araçlarda nesne tespiti ile ilgili yapılan bir çalışmada YOLOv4 Tiny modeli kullanılarak gerçek zamanlı nesne algılama yapabilen bir

otonom araç tasarımı ve geliştirilmesini detaylı bir şekilde ele almıştır [20]. Yine YOLOv4 algoritmasının kullanıldığı benzer bir çalışmada tek aşamalı nesne algılama algoritması ile otonom sürüş teknolojisi için gerçek zamanlı bir nesne algılama sistemi önerilmiştir [21]. Otonom araçlarda nesne tespitinin etkinliğinin araştırıldığı bir başka çalışmada, etkililik ve verimlilik arasında bir denge sağlamak için YOLOv4-5D çerçevesi tasarlamışlar ve CSPDarknet53_dcn(P) omurga ağı kullanarak daha hızlı ve daha az hesaplama gücü gerektiren bir nesne tespiti sağlamışlardır [22]. Benzer bir çalışmada ise yoğun sisli hava koşullarında nesne algılama performansını artırmak için YOLOv5-Fog modelini geliştirerek deneysel olarak test etmiş ve baz çözüme göre bu yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmışlardır [23].

Bu çalışmada ise trafikte daha fazla sınıf etiketi (otomobil, motosiklet, kamyon, yaya, bisiklet, trafik ışığı, kırmızı trafik ışığı, yeşil trafik ışığı, sarı trafik ışığı, otobüs, bisiklet sürücüsü, motosiklet sürücüsü) dikkate alınarak YOLO algoritmalarından YOLOv5 ve YOLOv8 modellerinin nesne tespit performansları ölçülerek karşılaştırılmıştır.

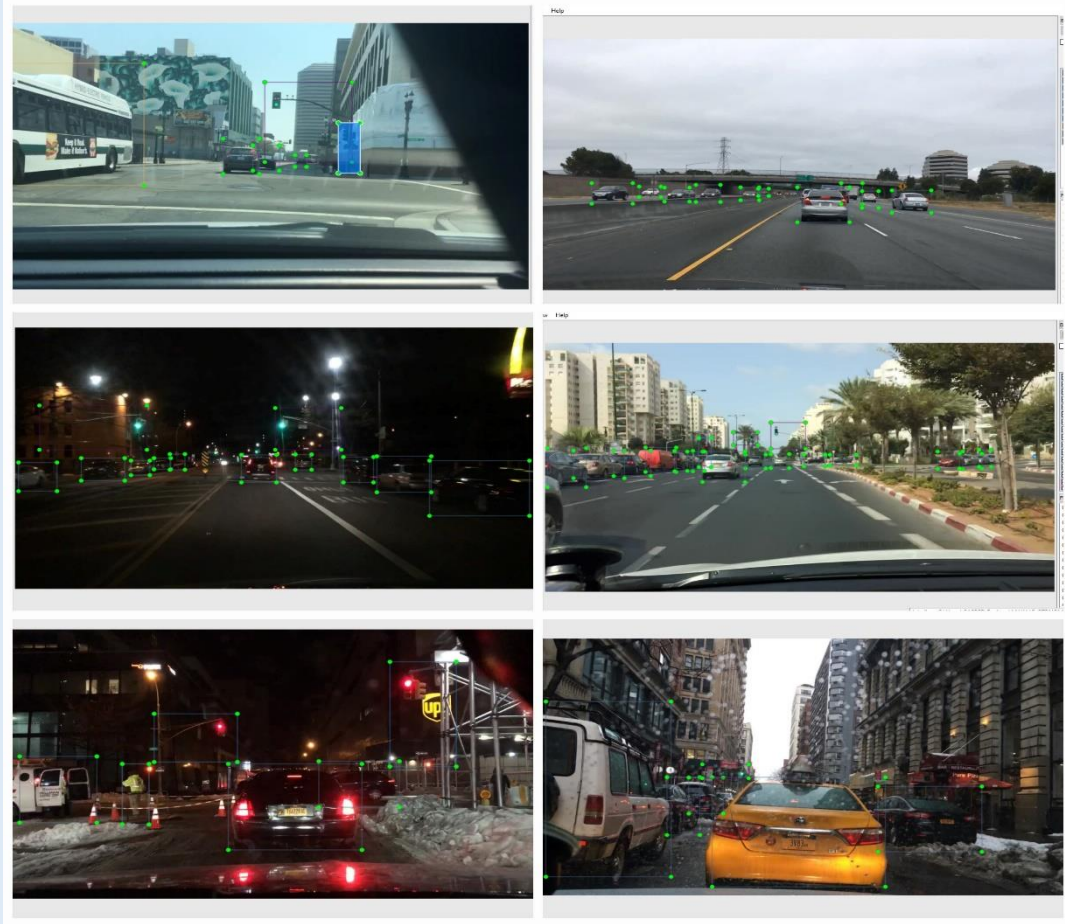
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada YOLOv5 ve YOLOv8 algoritmalarının nesne algılamadaki etkinlikleri ölçmek için farklı trafik senaryolarını ve çevresel koşulları içeren geniş bir veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümeleri otonom sürüş araştırmalarında sıkça kullanılan KITTI ve BDD100K gibi veri kaynaklarından türetilerek oluşturulmuştur. Öncelikle, modellerin eğitiminde kullanılmak üzere toplam 10000 fotoğraf rastgele seçilmiştir. Bunların 5000'i BDD100K veri kümesinden ve 5000'i KITTI veri kümesinden oluşturulmuştur. Toplanan veriler, on iki farklı nesne sınıfını tanımlayacak şekilde etiketlenmiştir. Bu sınıflar arasında otomobil, motosiklet, kamyon, yaya, bisiklet, trafik ışığı, kırmızı trafik ışığı, yeşil trafik ışığı, sarı trafik ışığı, otobüs, bisiklet sürücüsü ve motosiklet sürücüsü bulunmaktadır. Fotoğraflardaki sınıf dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere veri setinde otomobil çok sayıda bulunurken yayalar dengeli diğer sınıflar ise daha az sayıda temsil edilecek şekilde denk gelmiştir.



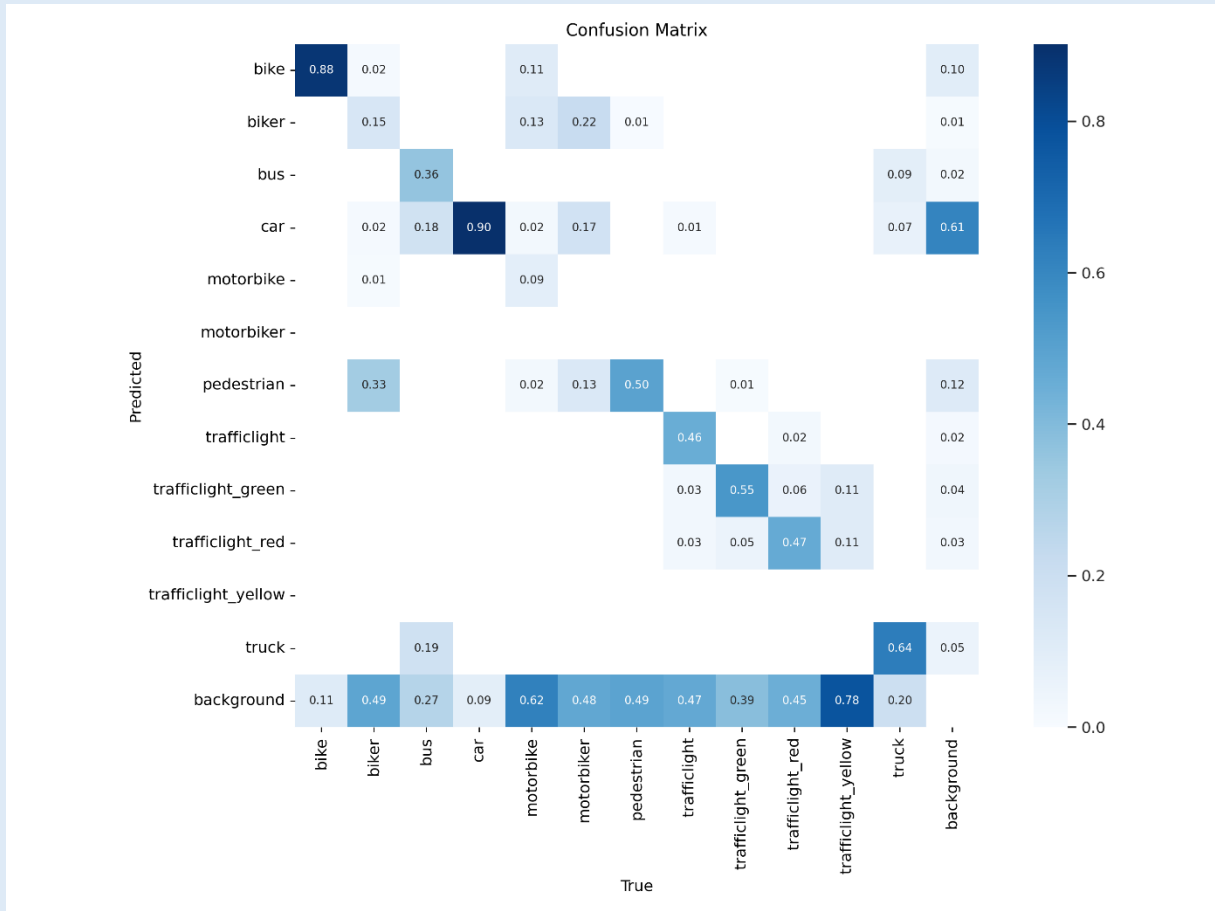
Şekil 1. Sınıf Dağılımları

Görüntü etiketleme aracı olarak LabelImg kullanıldı ve seçilen 10.000 resmin etiketleri LabelImg kullanılarak tek tek oluşturuldu. LabelImg, Python'da yazılmış ücretsiz ve açık kaynaklı bir araçtır ve grafiksel görüntü etiketlemek için kullanılan bir arayüzdür [24]. Örnek olarak etiketlenmiş bazı görüntüler Şekil 2'de gösterilmiştir.

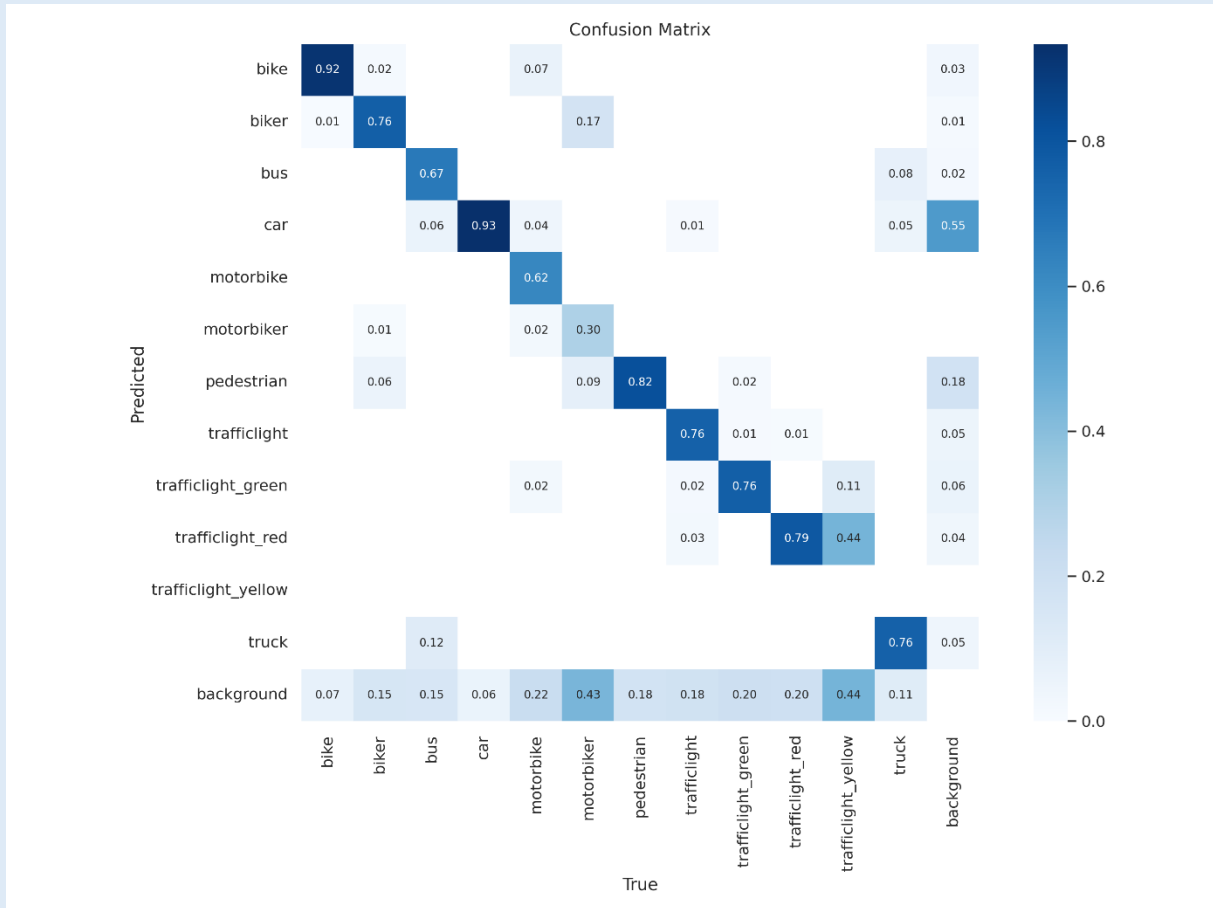


Şekil 2. Etiketli Resimlerden Örnekler

YOLOv5 ve YOLOv8 modeli, oluşturduğumuz veri seti kullanılarak ücretsiz GPU erişimi sunan Google Colab üzerinde 50 epok kullanılarak eğitilmiştir. Eğitim süreci YOLOv5 için 1,305 saat iken YOLOv8 modelinde 5,209 saat sürmüştür. Bir YOLO modelinin performansını değerlendirmek için birçok metrik kullanılabilir. Bu metriklerin en önemlilerinden biri "confusion matrix (karmaşıklık matrisi)" olarak adlandırılan bir matristir. Confusion matrix bir sınıflandırma modelinin tahminlerini gerçek değerlerle karşılaştırmak için kullanılan bir araçtır. YOLO gibi nesne tespit modelleri, nesnelerin sınıflandırılması ve konumlarının tahmin edilmesi gibi çoklu sınıflandırma ve regresyon görevlerini gerçekleştirir. Şekil 3 YOLOv5 için ve Şekil 4 YOLOv8 için 12 sınıfın verileri üzerindeki confusion matrix grafiğini göstermektedir. Yatay eksen eğitilmiş model tarafından tahmin edilen sınıfı gösterir ve dikey eksen ise gerçek sınıf etiketlerini gösterir. YOLOv8 modeli YOLOv5 modeline göre her sınıf için daha yüksek yüzde oranıyla doğru tahminde bulunmuştur. Her iki modelde de motor sürücüsü ve sarı trafik ışığını tahmin etmede düşük performans göstermiştir. Örneğin, YOLOv5 modelinde otobüs sınıfının %36'sı doğru bir şekilde tahmin edilirken %18'i otomobil sınıfı ve %19'u kamyon sınıfı olarak tahmin edilmiştir. Ayrıca, arka plan görüntüsündeki yanlış pozitif tespit (otobüs olmayan nesnenin otobüs olarak algılanması) %27'si de otobüs sınıfına aittir. YOLOv8 modelinde bu durum %67 oranında doğru tahmin edilirken %6 oranında otomobil, %12 oranında kamyon olarak tahmin edilmiştir ve arka plan görüntüsünde yanlış tahmin edilen otobüs sınıflandırması %15'tir.



Şekil 3. YOLOv5 için Confusion Matrix

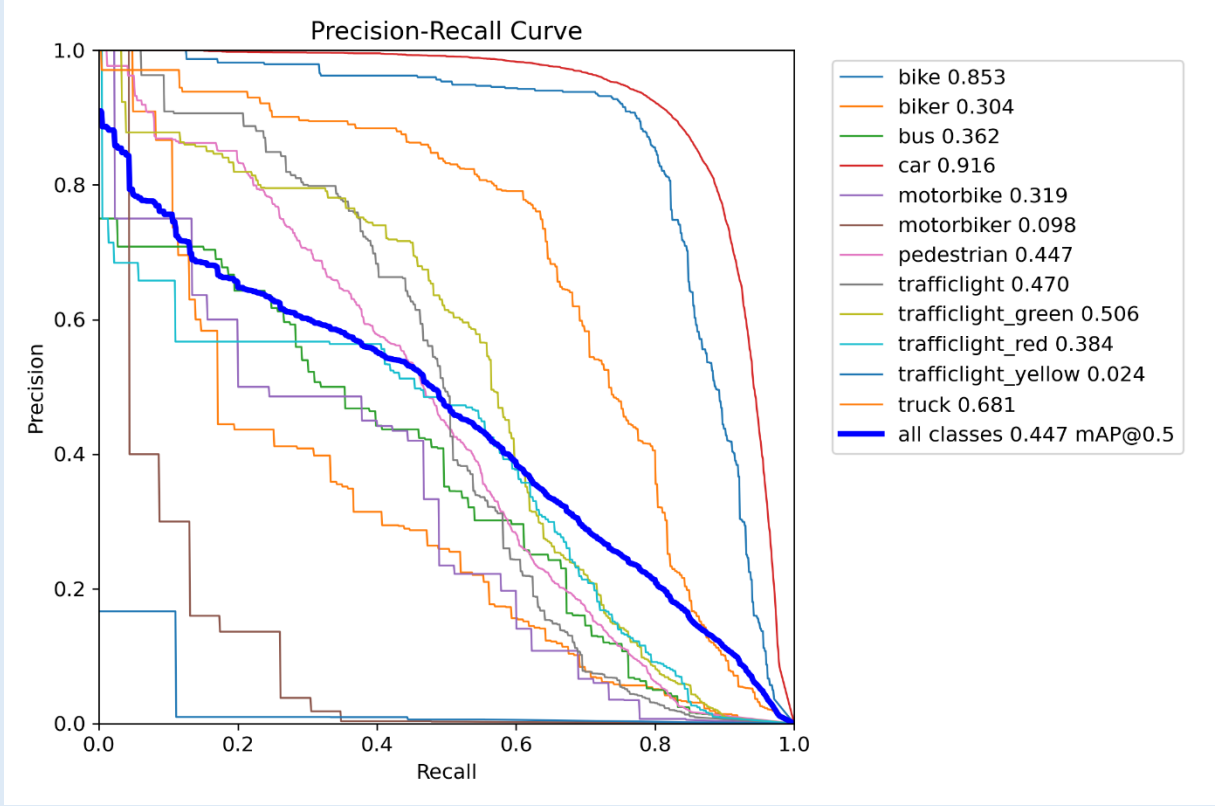


Şekil 4. YOLOv8 için Confusion Matrix

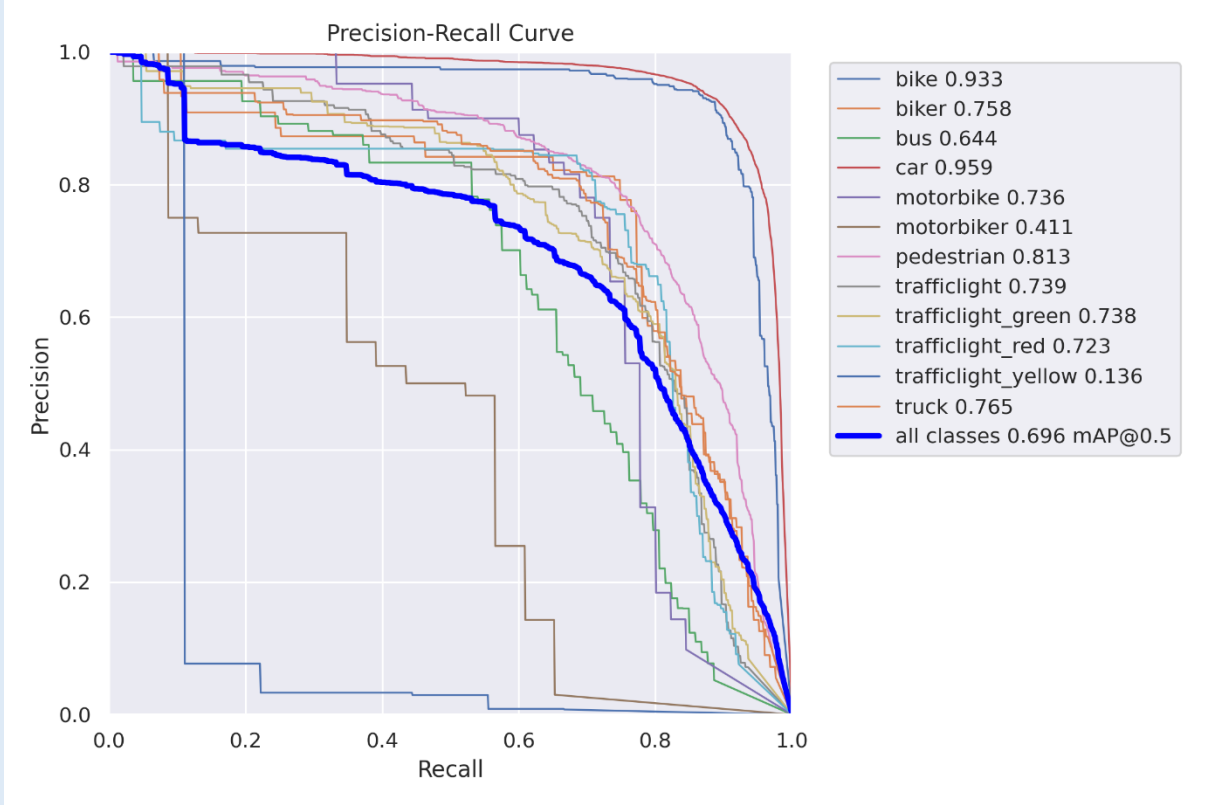
P-R (Precision-Recall) eğrisi, bir sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan bir grafikdir. Genellikle precision ve recall değerlerini görselleştirmek için kullanılır. Precision, doğru pozitif tahminlerin (true positives, yani gerçekte nesne var ve algoritma nesneyi doğru tahmin ediyor) toplam pozitif tahminlere (true positives + false positives) oranını temsil eder. False pozitif nesne olmadığı halde nesne var tahmini anlamına gelmektedir. Yani, precision modelin ne kadar doğru pozitif sonuç ürettiğini gösterir. Recall, doğru pozitif tahminlerin toplam gerçek pozitifler (true positives + false negatives) sayısına oranını temsil eder. False negatif nesne olduğu halde model nesneyi doğru tespit edememesi durumudur. Yani, recall modelin gerçek pozitif sonuçları ne kadar iyi yakaladığını gösterir.

Şekil 5 YOLOv5 için, Şekil 6 ise YOLOv8 için model eğitimi sonundaki P-R eğrisi ve her sınıf için mAP@0.5 skorunu göstermektedir. mAP (Mean Average Precision) değeri, modelin farklı sınıflardaki nesnelere ne kadar doğru tespit ettiğini ve sınıflandırdığını ölçer ve gerçek veriye ait sınırlayıcı kutunun algılanan sınırlayıcı kutu ile karşılaştırılmasını hesaplar. Grafiğin altında kalan alan ne kadar yüksekse modelin doğruluğu da o kadar yüksektir. YOLOv5 ve YOLOv8 modelleri karşılaştırıldığında her sınıf için YOLOv8 modelinin doğruluğunun YOLOv5 modeline göre daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki model için de motor sürücüsü ve sarı trafik ışığının doğru algılanması oldukça düşüktür. "mAP@0.5" terimi ise değerlendirmelerde sıkça kullanılan ve bir nesne algılama modelinin belirli bir güvenilirlik eşliğini (burada %50 yani ortalama değer) dikkate alındığını göstermektedir) kullanarak ortalama hassasiyetini (Ortalama Hassasiyet) değerlendiren bir metriği ifade eder. YOLOv5 modelinde 0,50 eşik değeri baz alındığında tüm sınıflar için hesaplanan P-R eğrisi altındaki alanın ortalama değeri

0,447 olmaktadır. YOLOv8 modelinde ise 0,50 eşik değeri baz alındığında tüm sınıflar için hesaplanan P-R eğrisi altındaki alanın ortalama değeri 0,696 olmaktadır. Bu, YOLOv8'in aynı eşik değerinde daha yüksek bir ortalama hassasiyet performansı sergilediğini gösterir.



Şekil 5. YOLOv5 İçin Precision-Recall Eğrisi



Şekil 6. YOLOv8 İçin Precision-Recall Eğrisi

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada son dönemlerde nesne tanıma çalışmalarında sıkça tercih edilen algoritmalar olan YOLO algoritmasının etkinliği değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda YOLO algoritmasının son sürümü ve en güncel versiyonu olan YOLOv8 algoritması ve YOLOv8 algoritması oluşturulurken baz alınan YOLOv5 algoritması değerlendirilmiştir. İlk önce veri kümesi oluşturulmuş ve veriler trafikte sıkça rastlanılan ögeler olarak belirlenen on iki sınıfa göre (otomobil, motosiklet, kamyon, yaya, bisiklet, trafik ışığı, kırmızı trafik ışığı, yeşil trafik ışığı, sarı trafik ışığı, otobüs, bisiklet sürücüsü ve motosiklet sürücüsü) etiketlenmiştir. Ardından etiketlenen veriler YOLOv5 ve YOLOv8 algoritmaları ile eğitilmişlerdir. Son olarak eğitim sonucunda alınan grafik çıktıları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda YOLOv8 algoritmasının YOLOv5 algoritmasına göre oransal olarak daha yüksek yüzde doğrulukla tahminler yaptığı görülmektedir.

Bu çalışma, nesne algılama alanında daha fazla sınıf etiketi içermekte ve en güncel YOLO algoritması olan YOLOv8 ve YOLOv8 modelinin geliştirildiği YOLOv5 modelini kullanarak bu alandaki performansları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, otonom sürüş teknolojileri ve benzer uygulamalar için oldukça önemlidir, çünkü farklı trafik senaryoları ve çevresel koşullar altında nesnelere başarılı bir şekilde algılamak, güvenli ve etkili otonom sürüşün temel gerekliliklerinden biridir. Sonuçlar bu modellerin halen istenen seviyede olmadığını ve geliştirilmeleri gerektiği yönünde bulgular sunmuştur.

Kaynaklar

- [1] Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695.
- [2] Shinde, P. P., & Shah, S. (2018, August). A review of machine learning and deep learning applications. In *2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCCUBEA)* (pp. 1-6). IEEE.
- [3] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- [4] Rusk, N. (2016). Deep learning. *Nature Methods*, 13(1), 35-35.
- [5] Du, X., Cai, Y., Wang, S., & Zhang, L. (2016, November). Overview of deep learning. In *2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)* (pp. 159-164). IEEE.
- [6] Pal, S. K., Pramanik, A., Maiti, J., & Mitra, P. (2021). Deep learning in multi-object detection and tracking: state of the art. *Applied Intelligence*, 51, 6400-6429.
- [7] Mhalla, A., Chateau, T., Gazzah, S., & Amara, N. E. B. (2018). An embedded computer-vision system for multi-object detection in traffic surveillance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(11), 4006-4018.
- [8] Iftikhar, S., Zhang, Z., Asim, M., Muthanna, A., Koucheryavy, A., & Abd El-Latif, A. A. (2022). Deep Learning-Based Pedestrian Detection in Autonomous Vehicles: Substantial Issues and Challenges. *Electronics*, 11(21), 3551.
- [9] Dai, X. (2019). HybridNet: A fast vehicle detection system for autonomous driving. *Signal Processing: Image Communication*, 70, 79-88.
- [10] Liu, L., Lu, S., Zhong, R., Wu, B., Yao, Y., Zhang, Q., & Shi, W. (2020). Computing systems for autonomous driving: State of the art and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6469-6486.
- [11] Jin, X., Yan, Z., Yin, G., Li, S., & Wei, C. (2020). An adaptive motion planning technique for on-road autonomous driving. *IEEE Access*, 9, 2655-2664.
- [12] Tong, S., Acerbo, F. S., Ruga, L., Hegde, A., Geluk, T., & Van der Auweraer, H. Enhancing Comfort in Autonomous Driving Development.
- [13] Nezhadalinaei, F., Zhang, L., Mahdizadeh, M., & Jamshidi, F. (2021, May). Motion object detection and tracking optimization in autonomous vehicles in specific range with optimized deep neural network. In *2021 7th International Conference on Web Research (ICWR)* (pp. 53-63). IEEE.
- [14] Wu, B., Iandola, F., Jin, P. H., & Keutzer, K. (2017). Squeezedet: Unified, small, low power fully convolutional neural networks for real-time object detection for autonomous driving.

In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 129-137).

[15] Feng, D., Harakeh, A., Waslander, S. L., & Dietmayer, K. (2021). A review and comparative study on probabilistic object detection in autonomous driving. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 9961-9980.

[16] Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., & Macesanu, G. (2020). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics*, 37(3), 362-386.

[17] Maharjan, P. S., & Shrestha, A. K. (2015). Automatic Vehicle Detection and Road Traffic Congestion Mapping with Image Processing Technique. *International Journal of Computer Applications*, 114(16).

[18] Walambe, R., Marathe, A., Kotecha, K., & Ghinea, G. (2021). Lightweight object detection ensemble framework for autonomous vehicles in challenging weather conditions. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021.

[19] Hnewa, M., & Radha, H. (2020). Object detection under rainy conditions for autonomous vehicles: A review of state-of-the-art and emerging techniques. *IEEE Signal Processing Magazine*, 38(1), 53-67.

[20] Chopda, R., Pradhan, S., & Goenka, A. (2021). Design and Development of an Autonomous Car using Object Detection with YOLOv4. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, 19(12).

[21] Wang, R., Wang, Z., Xu, Z., Wang, C., Li, Q., Zhang, Y., & Li, H. (2021). A real-time object detector for autonomous vehicles based on YOLOv4. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021.

[22] Cai, Y., Luan, T., Gao, H., Wang, H., Chen, L., Li, Y., ... & Li, Z. (2021). YOLOv4-5D: An effective and efficient object detector for autonomous driving. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-13.

[23] Wang, H., Xu, Y., He, Y., Cai, Y., Chen, L., Li, Y., ... & Li, Z. (2022). YOLOv5-Fog: A multiobjective visual detection algorithm for fog driving scenes based on improved YOLOv5. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1-12.

[24] Nelson, j. (2020) Labellmg for Labeling Object Detection Data, <https://blog.roboflow.com/labellmg/>

Türkiye Cumhuriyeti'nin Tarım Lojistiğinin Durumu

Ali Atilla Arısoy¹, İlgin Yaşar^{2*}

²Boğaziçi University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department,

Istanbul, Türkiye

ilgin.yasar@boun.edu.tr

0000-0002-0110-4982, 0000-0001-9896-9220

Özet

Tarım ürünleri lojistiği konusu COVID-19 pandemisi başladığından beri önemini korumaktadır. Günümüzdeki global krizlerden dolayı çok değişen petrol fiyatları bu konuyu daha da öne çıkarmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti'nde lojistik operasyonlarının çoğunluğu karayolu taşımacılığı vasıtasıyla yapılmaktadır ve bu fiyat oynamalarından son derece etkilenmektedir. Ancak ülkenin en büyük ihracat müşterisi olan Avrupa Birliği ülkeleri, sıfır emisyon hedefine ulaşabilmek adına, yeni emisyon vergileri planlamaktadır. Dolayısıyla yeni teknolojiler yardımıyla politika yapıcılar lojistik sistemleri iyileştirip daha sürdürülebilir ve çevreye zararı minimize edilmiş bir hale getirmenin yollarını aramaktadırlar. Yapay zekâ, blok-zincir, büyük veri ve robotik gibi teknolojiler tarım lojistiği alanında uygulandığı takdirde çok yüksek fayda sağlama potansiyeline sahiptirler. Bu teknolojilerin yardımıyla kurulacak sistemler sayesinde tarla ile market arasındaki fiyat farkının azalması mümkün olacaktır. Ayrıca ekonomik yük ve çevresel etki açısından da iyileşmeler gözlemlenmesi beklenmektedir. Ancak gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye Cumhuriyeti, var olan kısıtlı imkanları en verimli şekilde kullanmak zorundadır ve bu teknolojik araçları değerlendirmeden önce politika yapıcılar tarafından daha yapısal çözümlerin devreye alınması gerekmektedir. Bu çalışmada literatürdeki tarım lojistiği konusunda yapılan çalışmaların bir incelemesi yapılmış ve eksik olduğu düşünülen alanlar açıklanmıştır. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti'nin politika yapıcıları ve karar verici mercilerine yapılan tespitler doğrultusunda tavsiyeler sunulmuştur. Elde edilen çıktılar sayesinde ülkenin yetkilileri ülke özelinde, dünyadaki gelişmeler ve çalışmalar hesaba katılmış çözüm önerilerine sahip olabileceklerdir. Gelecekte bu konuda çalışmalar yapmak isteyenler için de çözüm önerilerinin uygulanabilirliğinin önemi bu çalışmada vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tarım ürünleri lojistiği; gıda taşımacılığı.

The State of Agricultural Logistics in The Republic of Türkiye

Abstract

The logistics of agricultural products has retained its significance since the onset of the COVID-19 pandemic. Global crises, and highly variable oil prices, further underscore this issue. In the Republic of Türkiye, the majority of logistics operations are conducted through road transportation, and it is significantly impacted by these price fluctuations. However, European Union countries, being the country's largest export customers, are planning new emission taxes to achieve zero emissions. Consequently, policymakers, with the assistance of new technologies, are seeking ways to enhance logistics systems, making them more sustainable and environmentally friendly. Technologies such as artificial intelligence, blockchain, big data, and robotics have the potential to provide significant benefits for the field of agricultural

logistics, such as reducing the price difference between the field and the market. Moreover, improvements are expected in terms of economic loads and environmental impact. However, the Republic of Türkiye is a developing country and must utilize its limited resources very efficiently. Policymakers need to implement more infrastructural solutions before implementing these technological tools. This study provides a review of the literature on agricultural logistics and highlights some of the research gaps. Additionally, recommendations are presented to policymakers and decision-makers based on the findings and the current status of the country. The importance of the feasibility of implementing these solution proposals, for those intending to work on this topic in the future, is emphasized in this study.

Keywords: Agricultural logistics; food transportation.

1. Introduction

Agricultural logistics has a very important place for the agriculture industry. Its importance has become even more apparent after the effects of the COVID-19 pandemic. The pandemic has shown that the current solutions for the problems that can occur in the supply chain of agricultural goods are not sufficient and more resilient supply chain systems and better solution approaches for these kinds of scenarios [1, 2]. Additionally, due to multiple crises around the globe, such as the conflict between Ukraine and Russia, and Palestine and Israel, the fuel prices, the decreased price of oil has started to rise again [3] (Figure 1). Countries that rely on mostly highway transport modes for logistics operations are expected to be impacted by these price fluctuations the most, due to the fact that cost of highway logistics conducted via trucks are significantly dependent on the price of oil [4].

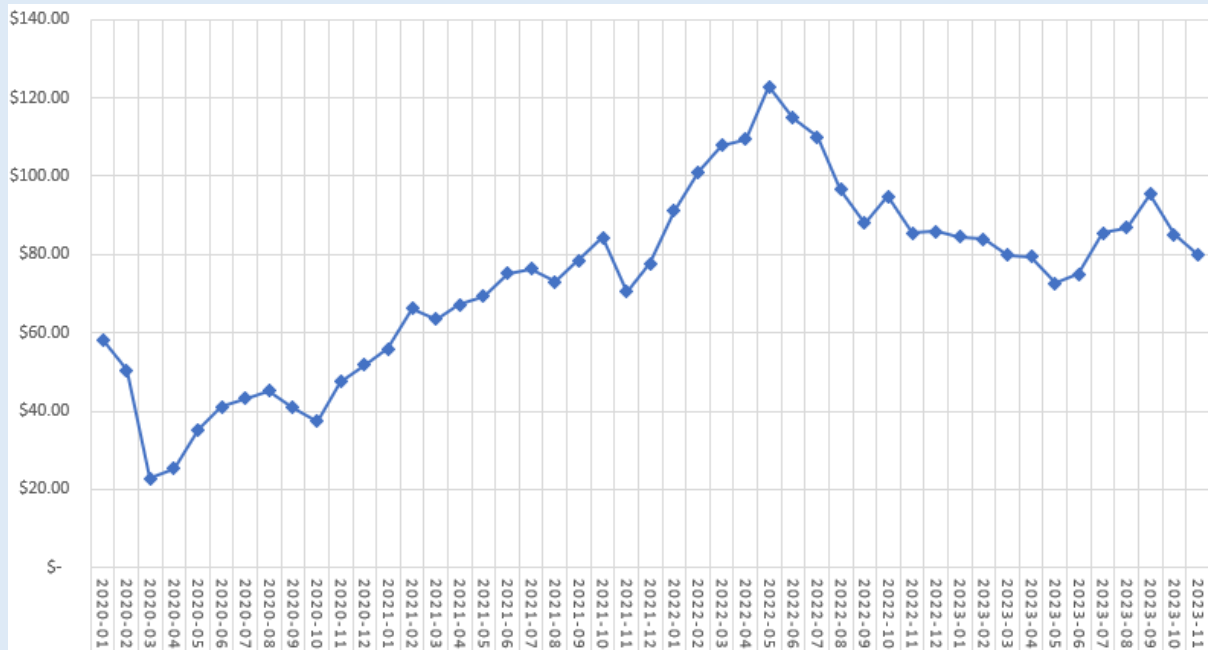


Figure 1. Monthly price of brent oil between 2020 January and 2023 November [3]

The Republic of Türkiye (TC) is one of the most important countries in the area, especially due to the fact that it is acting as a bridge between the Middle East, Asia and Europe. TC is also one of the biggest exporters in the area with its main exporting countries being from the European Union (EU) (Figure 2) [4]. Unfortunately, due to the current state of the logistics

system, fluctuating oil prices throughout the world, and economic problems, the share of the diesel cost index for agricultural production has increased by approximately 65% between January and August of 2023 [5]. In addition to the fact that the price of production is getting more expensive, the price difference between the farm (producer) and the market (consumer) keeps getting bigger as well. It is reported by the Union of Chambers of Agriculture of TC, in October 2023, the price of a lemon in a market was approximately 6.83 times more expensive than the farm price [6] (Table 1).

While the policymakers of TC must consider more efficient ways to decrease the cost and increase the efficiency of the logistics system throughout the country, the environmental and sustainability aspects of the system must also be considered. According to the European Green Deal, the EU has aimed to become the first net-zero emission continent [7]. One of the biggest contributors of greenhouse gas (GHG) emissions is the transportation sector [8]. Among different transportation modes, road transportation is the most utilized and biggest GHG emission source compared to other alternatives [9]. Most of the logistics operations are conducted via trucks in TC. When countries in the EU increase their green-house-gas (GHG) emission taxes, the exporters are expected to face increased financial loads. Therefore, the policy makers, while encouraging the sector experts to utilize more environmentally friendly transport modes, must increase the investments for the infrastructure to ensure this type of mode can be utilized on a wider scale.

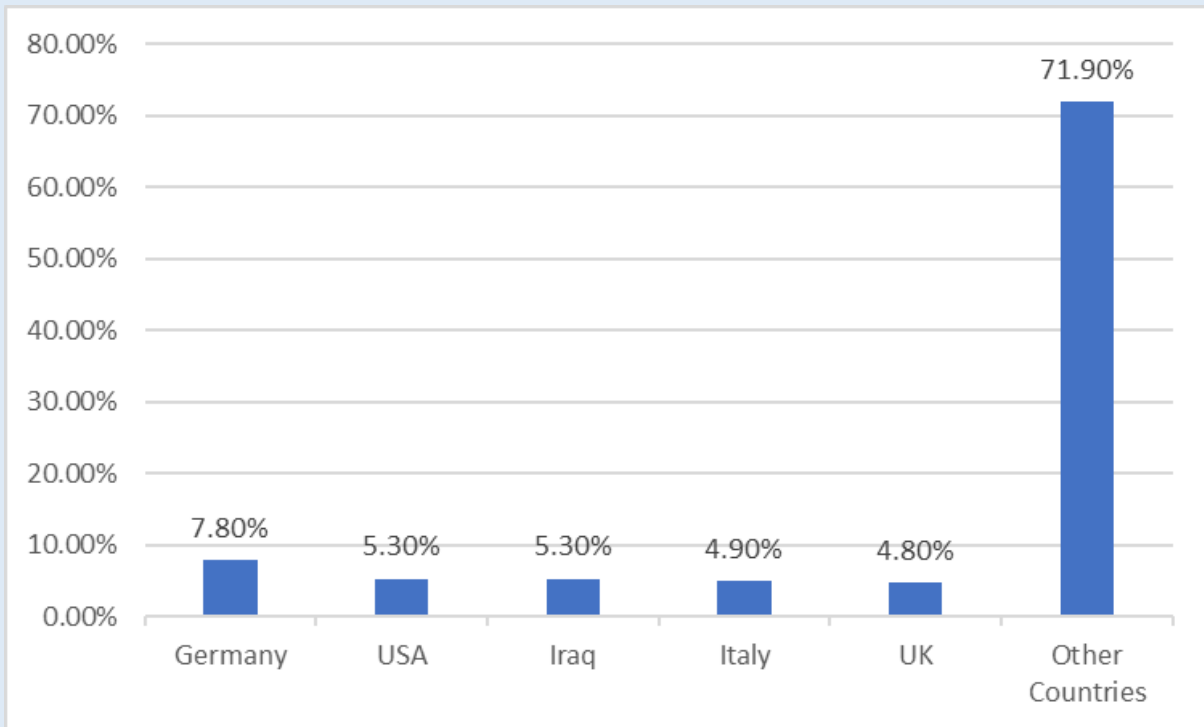


Figure 2. Distribution of TC's exports by countries as of September 2023 [4].

Table 1. Top 10 products that have the highest price difference between the producer and the market [6].

PRODUCTS	Price (TL/kg)				Price Difference (%)		
	Producer	Market Place	Bazaar	Market/ Super Market	Market Place/ Producer	Bazaar/ Producer	Market/ Producer
Lemon	2.10	8.80	14.39	16.44	319.05	585.16	683.00
Onion	3.94	08.05	11.67	13.16	104.31	196.11	234.00
Lettuce (per piece)	7.71	12.52	17.75	24.28	62.30	130.09	214.80
Parsley (per piece)	3.61	3.73	8.21	10.84	3.30	127.56	200.40
Red Lentils	17.50	27.00	35.00	52.11	54.29	100.00	197.80
Apple	9.50	13.42	21.67	27.68	41.31	128.07	191.40
Carrot	9.00	12.10	19.67	23.10	34.44	118.52	156.70
Green Onions (per bunch)	7.30	11.38	16.00	18.50	55.89	119.18	153.50
Eggplant	8.38	10.95	15.50	19.69	30.75	85.07	135.20
Peppers	13.63	20.80	26.58	31.79	52.66	95.11	133.30

In the next sections, the developments for the agricultural logistics sector are presented both globally, and for TC. Afterwards, while considering the status of TC, a discussion for the policy makers of TC is conducted for recommending which technologies and approaches should be employed for improving the logistics infrastructure in TC. Finally the concluding remarks are presented in the final section.

2. Development of agricultural logistics

The latest technologies such as artificial intelligence (AI), blockchain, big data, and robotics, have a lot of potential for the development of improved agricultural logistics systems [10].

Artificial neural networks (ANNs), agent-based systems (ABSs), data mining, simulated annealing, automated planning, robot programming, and heuristics are some of the approaches that can be employed for logistics operations [11]. Especially, by combining information sharing and AI, both economic and environmental benefits can be gained. In a study that can be used as a theoretical and practical base for further research, this combination has provided a reduction in terms of carbon emissions by 13% and financial cost reduction by approximately 21% [12]. Furthermore, the cost of new construction investments has reduced by 23.8%, which is especially important for countries with limited resources. For AI solution applications to be successful, critical success factors are determined as readiness, security, confidentiality, customer satisfaction, perceived advantages, fluctuation in demand, regulatory compliance, competitive influence, and information sharing among collaborators [13].

While AI approaches improve the efficiency of the overall agricultural logistics system, blockchain technology provides new opportunities from a different angle. Transparency of a system is important for its credibility and traceability of a system can provide evidence for the reliability of a logistics system. While cloud technologies can provide an infrastructure for storing data, it can be insufficient for verifying all parties are involved on this infrastructure, such as processors, logistics specialists, transportation parties, and regulators [14]. The blockchain can be a tool for including all parties, including the consumer, into this grand supply

chain scheme. Food suppliers can utilize the blockchain to collect critical data in a reliable manner for informing the safety of the food to their customers [15]. Even though the blockchain does not include information about the ownership of the data or who accesses it, biometric blockchains can be developed for increasing the transparency and verifying data authenticity of the supply chain.

As smartphones, social media, and other internet of things (IoT) concepts and devices have become widespread, the amount of generated data has become overwhelming. Managing the flow and structure of data at this scale is a challenge itself [16x]. In the US, EU and People’s Republic of China, high capacity supercomputer centers have been put into work for providing the necessary archives to the professionals and researchers for their studies. Although these centers are being used for other subjects as well, the process of food safety is still at its very early stages. There are databases available on the web that have been provided in a research [17]. These databases can be very useful guides for providing the necessary insight for policy makers that aim to resolve social, legislative and technical issues for maximizing the benefits of big data utilization (Table 2).

Table 2. Available databases that contain big data about different subjects on the web [17].

Database Name	Content Type	Content Description	Country / Organization	Source
GEMS/food	Monitoring data	Biological/chemical monitoring data	WHO	https://extranet.who.int/gemsfood/
USDA Production, Supply and Distribution Online	Production / supply	official USDA data on production, supply and distribution of agricultural commodities	USA / USDA-PSD	http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx
The EFSA Comprehensive European Food Consumption Database	Consumption data	Information on food consumption across the European Union	EU / EFSA	http://www.efsa.europa.eu/en/datasets/exfoodcdb/datexfooddb.htm

COVID-19 pandemic has shown that the resilience of logistics facilities is crucial for the continuity of food supply chains. Automation and robotics technologies are key concepts for maximizing the working hours of facilities, improving efficiency, and minimizing human caused errors. Especially, delivering food to the consumers via last mile distribution is a very critical step for scenarios of complete lockdowns. Robotics can be used for automating this distribution. By doing so the lower income households can have access to essential food products without any exposure to pandemic risks [18]. Utilizing robotics can also decrease the cost of labor and thus make agricultural products more affordable [19]. However, the necessary investments for integrating this technology into the food supply chain can be an extremely expensive endeavor. This can be one of the main reasons why this subject is still at very early stages of research and not many studies are available [20].

Research about these state-of-the-art technologies and concepts are very valuable. However, for developing countries, there is a significant gap between the solutions that can be developed with these tools and their real-life applications [21]. Some of the research gaps determined in the literature can be summarized as follows;

- Because each region has its own characteristics, implementation of solutions can create different challenges. There is a gap of research for custom best practice implementation strategies for the logistics operations [22].
- Providing economically feasible systems for logistics operations is another important area that not enough research is being conducted. Policy makers require studies that they can utilize, while developing new infrastructure, training and maintaining high-skilled labor, and working on new regulations.
- While making important decisions, it is important that the reasoning can be supported with data. Developing these tools for logistics sector experts can be an important contribution. Experts can then utilize these tools to distribute their costs adequately between themselves and the consumers or test the outcomes of different scheduling strategies [23, 24].
- Most of the simulations in the literature are modeled in a deterministic manner. However, this is never the case in real life scenarios as there are many different parameters to consider their potential consequences [25]. In order to reflect the uncertainties and real-life cases that can occur during logistics operations, digital twin technologies must be utilized. By doing so, a much more realistic digital copy of the real system can be obtained and potential scenarios can be worked on, in this virtual environment, in a much more realistic manner [26]. The necessary big data from all parties of this digital logistics system must be collected and stored in a strategic manner as well. By doing so the full potential of data and AI can be achieved through this digital twin [27].

3. Discussion for Republic of Turkiye's policy makers

According to the developments in the literature that has been explained in the previous sections, policy makers of TC need to make the necessary investments for the required infrastructure that these technologies need. Collecting data and making databases available for all parties of the food logistics system is essential for experts to make decisions based on data and must be one of the prioritized projects for the policy makers. The structure of these databases can be determined based on the content category and similar examples available on the internet.

Because of the limited resources, it is important to find the best option instead of providing these valuable data-collecting devices, such as sensors, to every single logistics operator. As the EU being the biggest export client of TC, one key indicator for making this decision is to observe which companies or parties are utilizing the least environmentally impactful transportation mode for transporting the agricultural goods. Policy makers can make inspections to observe which companies are making use of data and considering the environmental impact as well as the financial impact of their logistics operations. Based on the results, to encourage more parties to join this endeavor, these valuable devices for collecting more accurate and critical data can be provided to those parties who make this effort.

Another important aspect is skilled labor. If the previously mentioned technologies are to be utilized, then the workers must be trained in a specialized way. The workers must be able to operate these tools so that the logistics operations can be conducted in the most efficient way possible. Training programs must be developed with the cooperation of sector experts so that the planning steps and operational works can be done in the most optimized and safest manner. Policy makers must encourage companies to provide these training programs for the general public so that new employment opportunities become available and logistics operations are done in the best way possible.

TC's geography is far from homogenous. This situation calls for the need of developing different solutions for different regions of the country. Policy makers must create sub-divisions that mainly focus on given regions and the collected information must be gathered at a central hub, available for all logistics experts to use. By doing so, sector experts can research for ways to find the optimal solution for the investigated region and develop it in a data-driven manner.

Strategic incentives for maximizing the sustainability and optimizing the environmental impact of the logistics operation is another subject that must be focused on. For example, incentives can be provided to the companies that utilize low-carbon emission or electric trucks for last-mile delivery for their logistics operations. Another case can be that instead of utilizing airway transport, logistics companies can be encouraged to not use this high emission transportation mode and instead shift to more environmentally friendly ones, such as electric trucks for road transportation

4. Conclusion

In this study, the state of agricultural logistics in TC, literature and the globe is investigated. Ever since the COVID-19 pandemic the price of oil keeps fluctuating. Developing countries that depend on transportation modes that are highly impacted by these fluctuations must take action by shifting towards more sustainable and economically feasible options. Policy makers are looking for opportunities and ways to improve the logistics system in order to reduce the price difference between the producers and consumers, and minimize the cost of environmental taxes that are implemented by mainly EU countries.

After investigating the current state of agricultural logistics, based on the findings, recommendations for the TC's policy makers are presented. With strategic incentives, skilled labor capacity and being prepared for technological tools to be integrated into the infrastructure, the overall logistics system can become much more sustainable, economically feasible, and environmentally friendly. Even further, these benefits can provide the opportunity for data-driven decision making, reduced emission tax costs for exporting operations, and new employment opportunities.

For future research, data-driven decision making systems are going to be investigated for both policy makers and logistics sector experts. One of the main limitations of this study is the perspective of the policy makers being neglected. However, data is required from these policy makers in order to recommend data-driven suggestions.

References

[1] S. Kumari, V. G. Venkatesh, E. Deakins, V. Mani, and S. Kamble, "Agriculture value chain sustainability during covid-19: An emerging economy perspective," *The International Journal*

of Logistics Management, vol. 34, no. 2, pp. 280–303, Sep. 2021. doi:10.1108/ijlm-04-2021-0247

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "Impacts of coronavirus on food security and nutrition in Asia and the Pacific: building more resilient food systems," FAO, 1-9, 2020.

[3] "Brent Oil Futures Historical Prices," Investing.com, <https://www.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data> (accessed Nov. 9, 2023).

[4] TURKSTAT, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dis-Ticaret-Istatistikleri-Eylul-2023-49627> (accessed Nov. 9, 2023).

[5] TURKSTAT, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tarimsal-Girdi-Fiyat-Endeksi-Agustos-2023-49565> (accessed Nov. 9, 2023).

[6] "Ekim Ayı üretici market fiyatlarındaki değişim, Narenciye Sektöründe Yaşanan Sorunlar, Ekim Ayı Aylık ve Yıllık Girdi fiyatlarındaki değişim," Union of Chambers of Agriculture of Türkiye, <https://www.tzob.org.tr/basin-odasi/haberler/ekim-uretici-market> (accessed Nov. 9, 2023).

[7] "The European Green deal," European Commission, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (accessed Nov. 9, 2023).

[8] "Mobility and transport," Mobility and Transport, https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2017_en (accessed Nov. 9, 2023).

[9] K. Kijewska, S. Iwan, and J. Korczak, "Challenges to increase the sustainable urban freight transport in South Baltic region – LCL Project," Transportation Research Procedia, vol. 39, pp. 170–179, 2019. doi:10.1016/j.trpro.2019.06.019

[10] S. Jagtap et al., "Food Logistics 4.0: Opportunities and challenges," Logistics, vol. 5, no. 1, p. 2, Dec. 2020. doi:10.3390/logistics5010002

[11] S. Sharma, V. K. Gahlawat, K. Rahul, R. S. Mor, and M. Malik, "Sustainable innovations in the food industry through Artificial Intelligence and big data analytics," Logistics, vol. 5, no. 4, p. 66, Sep. 2021. doi:10.3390/logistics5040066

[12] S. Gui-E and S. Jian-Guo, "Artificial Intelligence-based optimal control method for energy saving in Food Supply Chain Logistics Transportation," 2020 IEEE International Conference on Industrial Application of Artificial Intelligence (IAAI), Dec. 2020. doi:10.1109/iaai51705.2020.9332849

[13] M. Dora, A. Kumar, S. K. Mangla, A. Pant, and M. M. Kamal, "Critical success factors influencing artificial intelligence adoption in food supply chains," International Journal of Production Research, vol. 60, no. 14, pp. 4621–4640, Jul. 2021. doi:10.1080/00207543.2021.1959665

[14] A. Pal and K. Kant, "Using blockchain for provenance and traceability in internet of things-integrated food logistics," Computer, vol. 52, no. 12, pp. 94–98, Nov. 2019. doi:10.1109/mc.2019.2942111

[15] B. Xu, T. Agbele, and R. Jiang, "Biometric blockchain: A better solution for the security and trust of Food Logistics," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 646, no. 1, p. 012009, Oct. 2019. doi:10.1088/1757-899x/646/1/012009

[16] H. Wang, Z. Xu, H. Fujita, and S. Liu, "Towards felicitous decision making: An overview on challenges and trends of Big Data," Information Sciences, vol. 367–368, pp. 747–765, Nov. 2016. doi:10.1016/j.ins.2016.07.007

- [17] H. J. Marvin, E. M. Janssen, Y. Bouzembrak, P. J. Hendriksen, and M. Staats, "Big Data in Food Safety: An overview," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 57, no. 11, pp. 2286–2295, Apr. 2017. doi:10.1080/10408398.2016.1257481
- [18] A. Sharma, P. Zanotti, and L. P. Musunur, "Drive Through Robotics: Robotic Automation for last mile distribution of food and essentials during pandemics," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 127190–127219, 2020. doi:10.1109/access.2020.3007064
- [19] L. N. K. Duong et al., "A review of Robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 106, pp. 355–364, Dec. 2020. doi:10.1016/j.tifs.2020.10.028
- [20] L. Trivelli et al., "From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector," *British Food Journal*, vol. 121, no. 8, pp. 1730–1743, Jun. 2019. doi:10.1108/bfj-11-2018-0747
- [21] J. L. Vilas-Boas, J. J. P. C. Rodrigues, and A. M. Alberti, "Convergence of Distributed Ledger Technologies with Digital Twins, IOT, and AI for Fresh Food Logistics: Challenges and opportunities," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 31, p. 100393, Feb. 2023. doi:10.1016/j.jii.2022.100393
- [22] A. Mittal, C. Krejci, and T. Craven, "Logistics Best Practices for Regional Food Systems: A Review," *Sustainability*, vol. 10, no. 2, p. 168, Jan. 2018, doi: 10.3390/su10010168
- [23] A. Mittal, "Hybrid simulation modeling for regional food systems," thesis, Iowa State University, Ames, Iowa, 2016
- [24] D. S. Conner, and M. W. Hamm, "The economics of pasture raised animal products: Food, markets and community," thesis, Michigan State University: East Lansing, Michigan, 2007
- [25] W. Dai, Z. Yang, Y. Feng, and M. Zheng, "Real-time procurement policy with yield and price uncertainty," *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 3, pp. 758–782, Apr. 2019. doi:10.1080/00207543.2019.1600761
- [26] P. Maheshwari, S. Kamble, A. Belhadi, M. Venkatesh, and M. Z. Abedin, "Digital twin-driven real-time planning, monitoring, and controlling in food supply chains," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 195, p. 122799, Oct. 2023. doi:10.1016/j.techfore.2023.122799
- [27] J. C. Abraham et al., "Digital Twins: How to build the first twin," McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/digital-twins-how-to-build-the-first-twin> (accessed Nov. 9, 2023).

A Comprehensive Review on GPS Studies in Power Two-Wheelers

Yiğit Çetinel¹, İlgin Gökaşar^{2*}

²Boğaziçi University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department,

Istanbul, Türkiye

*ilgin.gokasar@boun.edu.tr

0000-0001-7425-9611, 0000-0001-9896-9220

Abstract

In this study, we explore the GPS-related studies on powered two-wheelers (PTWs) within diverse traffic environments. The review delves into mixed-traffic models, trajectory datasets, and the application of intelligent transportation systems (ITS), specifically highlighting challenges and insights pertinent to PTWs. We discuss the distinct traffic characteristics of PTWs, their interactions with other vehicles, and the importance of specialized trajectory datasets like Grab-Posisi for PTW research. Emphasizing the role of GPS as a cost-effective tool in ITS, particularly in developing countries with non-lane-based traffic, we highlight its effectiveness in accurate traffic flow measurement and ITS adaptation. The review also covers the need for PTW-specific navigation systems in urban areas and examines simulation models that address the unique movement dynamics of PTWs in mixed traffic. Additionally, we explore the application of machine learning in accident analytics involving PTWs and identifying accident hotspots. The paper concludes with an assessment of various GPS data processing methods, such as the Kalman filter and its extensions, underscoring their significance in enhancing the accuracy of PTW trajectory data. This synthesis of research provides comprehensive insights into the multifaceted role of GPS in PTW studies, demonstrating its potential to advance our understanding of PTW dynamics in heterogeneous traffic settings.

Keywords: GPS; Powered two-wheelers; PTW; Heterogeneous traffic; Motorcycle

İki Tekerlekli Motorlu Araçlarda GPS Çalışmaları Üzerine Kapsamlı Bir İnceleme

Özet

Bu çalışmada, karma trafik ortamlarındaki GPS ile ilgili iki tekerlekli motorlu araçların (PTW) üzerine yapılmış araştırmalar incelenmiştir. İnceleme, karma trafik modelleri, seyir veri setleri ve akıllı ulaşım sistemlerinin (ITS) uygulanması üzerine derinlemesine bir bakış sunmakta, özellikle PTW'lerle ilgili zorlukları ve önemli görüşleri vurgulamaktadır. PTW'lerin kendine özgü trafik özellikleri, diğer araçlarla etkileşimleri ve Grab-Posisi gibi özelleştirilmiş seyir veri setlerinin PTW araştırmalarındaki önemi tartışılmıştır. GPS'in ITS'de, özellikle şeritsiz trafik olan gelişmekte olan ülkelerde, maliyet açısından etkili bir araç olmasındaki rolü vurgulanarak, doğru trafik akışı ölçümünde ve ITS uyarılmasında etkinliği öne çıkarılmıştır. Bu çalışma ayrıca, şehir alanlarında PTW'ye özgü navigasyon sistemlerine duyulan ihtiyacı kapsamış ve karma trafikte PTW'lerin benzersiz hareket dinamiklerine yönelik simülasyon modellerini

incelemiştir. Ek olarak, PTW'leri içeren kazaların analitiğinde makine öğreniminin uygulanması araştırılmış ve kaza yoğunluk noktaları belirlenme konusundaki çalışmalara yer verilmiştir. Çalışmada, son olarak, Kalman filtresi ve genişlemeleri gibi çeşitli GPS veri işleme yöntemleri değerlendirilmiş, bu yöntemlerin PTW seyir verilerinin doğruluğunu artırmadaki önemi vurgulanmıştır. Bu araştırma sentezi, GPS'in PTW çalışmalarındaki çok yönlü rolüne kapsamlı bir bakış sağlamıştır ve heterojen trafik ortamlarında PTW dinamiklerinin anlaşılmasında GPS kullanımının potansiyeli göstermiştir.

Anahtar kelimeler: GPS; İki tekerli motorlu araçlar; PTW; Heterojen trafik; Motosiklet

1. Introduction

This review focuses on the impact of GPS technology in studying powered two-wheelers (PTWs), such as motorcycles, within diverse traffic settings. PTWs are an essential part of urban transportation due to their affordability and ability to navigate through varied road conditions. However, they present unique challenges in traffic management and safety, especially when mixed with other types of vehicles.

GPS technology has emerged as a vital tool in addressing these challenges. It provides detailed insights into the movement and behavior of PTWs, helping to develop more accurate traffic models and safety strategies specifically designed for these vehicles. This is particularly important in areas where PTWs interact with a range of vehicle types, leading to complex traffic patterns.

Our review will explore how GPS data is used to improve our understanding of PTWs in traffic. This includes looking at traffic models that incorporate PTWs, how GPS data helps in analyzing PTW movements, and the role of GPS in creating intelligent transportation systems. We will also examine the use of advanced techniques like machine learning in processing GPS data, which allows for more in-depth analysis and effective traffic management solutions.

In sum, this review aims to shed light on the current uses of GPS in PTW studies and its potential to enhance traffic systems and policies, making urban transportation safer and more efficient for everyone.

2. Literature Review

2.1 Heterogeneous Traffic with Powered Two-Wheelers

Traffic characteristics of powered two-wheelers (PTW) have started to be studied more and more comprehensively within an extensive range of topics. It usually appears in articles related to mixed traffic studies [1]. Although PTWs are not only focused, multiple vehicle types and their interactions are explored. Traffic characteristics differ significantly based on the capabilities of vehicle types, their sizes, and behaviors. Drivers of power two-wheelers usually disobey lane discipline. That creates a need for special attention to investigate mixed traffic behaviors different than homogenous traffic, also shown in Figure 4.



Figure 4. Homogeneous and mixed traffic characteristics. (adopted from [1])

a) Homogeneous traffic. b) Mixed traffic

This article provides an overview of existing mixed-traffic models including longitudinal and lateral movement models. Figure 5 shows that there are different behavioral studies in mixed-traffic models, such as staggered and between two vehicles. However, the authors claim that the limited availability of trajectory data is one of the major obstacles to the development of mixed traffic driving models as the estimation of their parameters is required.



Figure 5. Following behaviors in mixed traffic. (adopted from [1])

a) Car following, b) staggered following, c) following between two vehicles, d) passing

Another study examined how different types of vehicles follow each other on the road, focusing on the relationship between the size of the following (follower) and leading (leader) vehicles. Key findings include that smaller vehicles tend to directly follow larger vehicles; and that as the size of the following vehicle increases, it's more likely to adopt a staggered, rather than direct, following position. The proposed strategy is to use Multinomial Logistic Regression, their speeds and the distance between them also are dependent variables of the chosen following behavior [2].

Some studies use the agent-based simulation methodology to analyze the interactions between PTW and passenger cars in heterogeneous traffic [3]. The first step for calibration and validation is to process the real-life empirical microscopic trajectory data either from GPS or videos, as shown in Figure 6. Then, the agent-based model (ABM) helps researchers create an environment for observing the impacts of changing various variables.

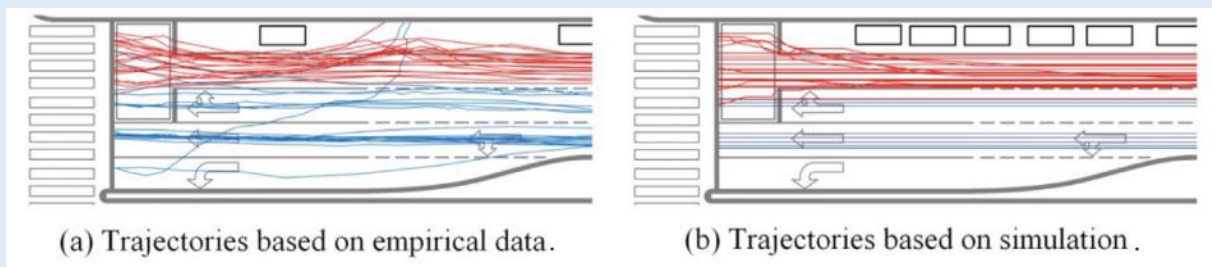


Figure 6. a) Empirical and b) simulated trajectories. The red color indicates PTWs, blue color indicates passenger cars. (adopted from [3])

2.2 Trajectory Datasets for Powered Two-Wheelers

Some projects are dedicated to creating trajectory datasets. Grab-Posisi is one of the real-world GPS trajectory datasets, from both developed and developing countries, with a 1-second sampling rate. The data is acquired from Android or iOS phone users driving cars or motorcycle-like vehicles. The authors suggest some application areas for this dataset, including one-way road detection using bearing information, and on-mode detection using standard deviation of bearing information, as illustrated in Figure 7.

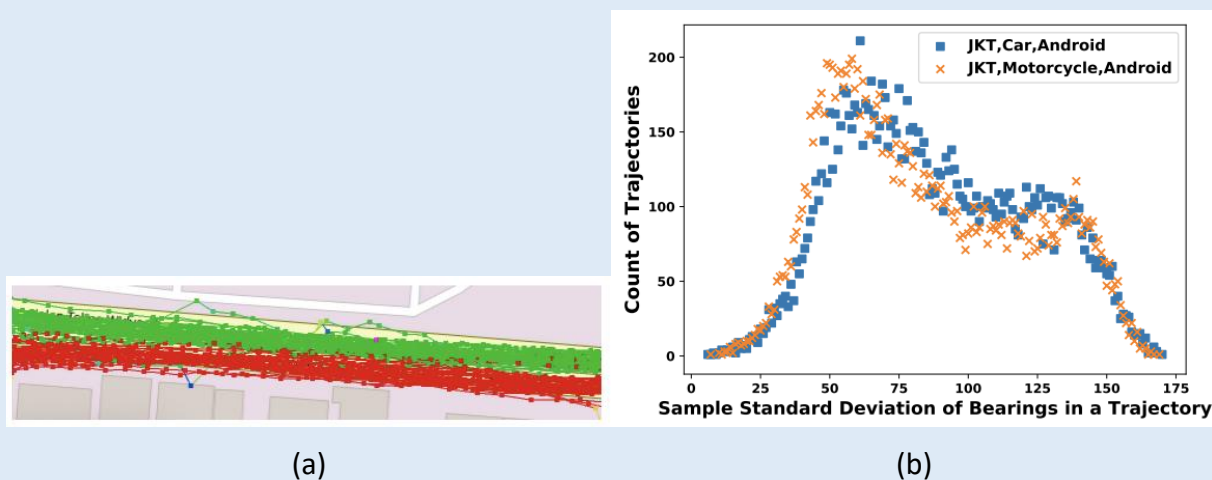


Figure 7. a) Bearings in different colors, b) Standard deviation of bearings

Above-referred studies, like most research, are supported and based on datasets. Some projects aim to create datasets useful for mixed traffic and PTW-oriented studies. Some of the major extraction sources of these datasets are video recordings of major roads [8], offline vision-based systems [18] and drones [12, 30], and GPS logs [14]. Video recordings need to be processed to generate trajectory datasets, as well as GPS-based data sources.

2.3 GPS as an Economic Intelligent Transportation System

Some studies utilize GPS technologies as a part of a combined system, such as a system of countermeasures to reduce fatalities and injuries [4]. The study combined several sources of data such as PTW sensors, context-based video retrieval systems, and GPS. It is suggested that training, infrastructure, and equipment adaptation can be prepared scientifically using the combination of the proposed data systems to reduce PTW fatalities.



Figure 8. Combined video and GPS data in a critical interaction situation. (adopted from [4])

For research on PTWs, although video datasets can provide detailed information on specific sections of a road, they are costly to implement over large areas. On the other hand, the research indicates that a 2–3% penetration of motorcycle GPS data in the driver population is enough to provide accurate measurements of the velocity of the traffic flow [5]. The authors experimented with 100 vehicles and compared the results with the probe data and loop detectors. The results match in significance even with a low rate of penetration.

On the other hand, using GPS data from multiple transportation modes, including motorcycles, is proposed as an economically adaptive ITS system for developing countries where non-lane-based traffic is the core [6]. Using low-cost GPS devices for motorcycles, it is claimed that the cost of developing, implementing, and maintaining this system is much lower than the traditional ITS systems.

Data mining techniques from mobile crowds are suggested particularly for developing countries not having ITS infrastructures [7]. In the proposed methodology, citizen observatories can collect and share traffic-related data with the system for processing and

analysis to resolve missing data to overcome the difficulty of estimating urban traffic in real time at any road segment.

Another research on motorcycle taxis using GPS data proposed a methodology to analyze the impact of PTWs on a city with a heterogeneous traffic [8]. The correlation of questionnaires with motorcycle density, which is extracted from motorcycle GPS records is investigated. It is shown that the mixed approach with GPS tracking despite the difficulty of obtaining large volumes of robust data is effective.

2.4 Navigation Systems

Some studies show that there is a need for a navigation system specialized for PTWs. In some urban areas, people started to prefer to use motorcycles over cars for various reasons such as it can pass narrow streets, and it can bypass the traffic in some specific conditions. This capability results in the inability to use standard navigation systems. A study proposed a system that uses the routing mechanisms entropy-balanced k shortest paths (EBkSP) to enable motorcycles to have a motorcycle-tailored navigation system [9].

2.5 Simulation Models

A study of a microscopic simulation model for two-wheelers claims that there is a gap in the literature that explains the movement of two-wheelers in mixed traffic conditions [10]. The behavior in mixed traffic includes various vehicle types moving together without strict lane adherence, collision avoidance, and reacting to the surrounding infrastructure and vehicles. The study suggests using perception lines which are imaginary lines drawn from the front seat of the subject motorcycle outwards to identify the surroundings that influence the movement of the motorcycle, as illustrated in Figure 9.

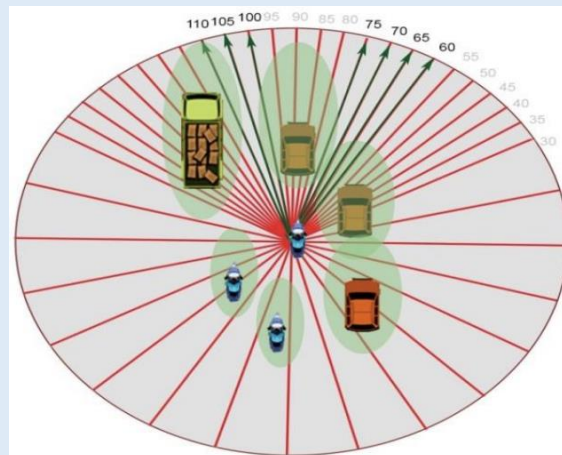


Figure 9. Perception lines of a motorcycle (adopted from [10])

2.6 Accident Analytics

Researchers used a machine learning approach including decision trees, random forests, logistic regression, naive Bayes, DBSCAN, and hierarchical clustering to analyze accidents [11]. The study shows that accidents involving motorcycles are the main factors that have a higher chance of resulting in victims. The locations of accidents are clustered to input the ML models to predict the accident hotspots, summarized in Figure 10.

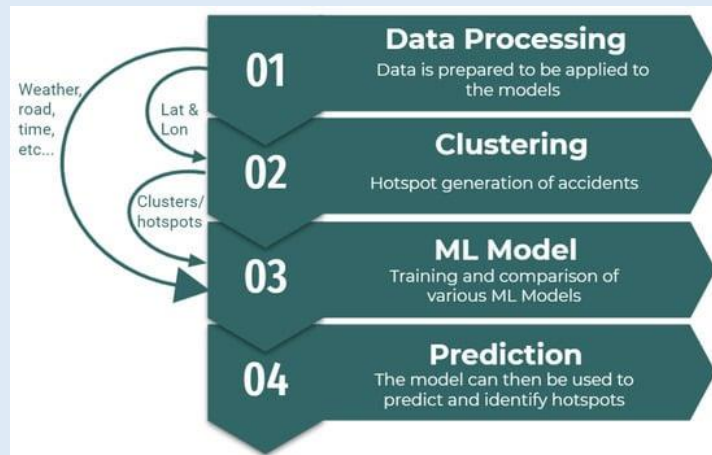


Figure 10. Description of the hotspot prediction approach (adopted from [11])

2.7 GPS Processing

As indicated before, GPS data is economical, widely distributed, and beneficial. However, before getting insights from the data, most GPS datasets have noisy records and should be pre-processed and cleaned. As the studies suggest, the Kalman and the extended Kalman filters are among the most used algorithms in motorcycle GPS data processing.

Researchers propose an algorithm for GPS of motorcycles having a bad measurement of trajectory stems from the declination of the body and obstacles near them [12]. The extended Kalman filter is constructed with x , y , and z coordinates, speed, standard deviation of velocity error, clock offset calculated by the nonlinear least-square method, and barometer values. The accuracy of trajectory calculated by the proposed method is less than 3m, and the estimation is equal to the exact location when a sufficient number of satellites is available.

Some other methods to reconstruct motorcycle trajectories from GPS records are smoothing cubic spline and Butterworth filters [13]. The spline method, unlike the interpolation function, does not pass exactly through all points but does come only reasonably close. The Mahalanobis distance is used for identifying multivariable outliers.

Researchers applied the chi-square test on two-wheeled vehicle traffic crashes for non-spatial analysis kernel density, nearest neighbor distances, and K-function analysis to determine the existence of clustering and hotspots [14]. They came to understand that a significant proportion of all accidents involve two-wheeled vehicles. It is recommended to use these key variables in the spatial analysis: “type of accident occurrence”, “number of vehicles involved in the accidents”, “day condition”, “season”, “month”, “hours in a day”, “road properties”, “weather properties”, “environment properties”.

3. Discussions & Conclusion

This review has systematically explored the intricate role of GPS technology in the realm of powered two-wheelers (PTWs) within heterogeneous traffic environments. Through our comprehensive analysis, it becomes evident that GPS not only serves as a pivotal tool for data collection and traffic analysis but also acts as a cornerstone in the development of intelligent transportation systems (ITS), particularly beneficial in settings with non-lane-based traffic common in many developing countries.

The studies reviewed here indicate a clear trend toward the utilization of GPS for more accurate and economical traffic management solutions. This is especially relevant for PTWs, which often display unique traffic behavior compared to other vehicle types. The incorporation of GPS data has been shown to significantly enhance the understanding of PTW dynamics, aiding in the development of targeted traffic models and navigation systems that cater to the specific needs of motorcyclists.

Moreover, the application of advanced data processing techniques like the Kalman filter to GPS data has opened new avenues for more precise trajectory analysis of PTWs. This advancement is crucial in addressing the challenges posed by the inherent noise and inaccuracies in raw GPS data, especially in the context of PTWs.

The integration of GPS data with machine learning techniques for accident analysis further underscores the potential of this technology in enhancing road safety for PTWs. By identifying high-risk areas and patterns, these methods offer valuable insights for policymakers and urban planners to develop more effective safety measures.

In conclusion, the reviewed literature collectively demonstrates that GPS technology is not only a key enabler in understanding and managing PTW traffic but also a vital component in advancing research in this field. As technology continues to evolve, the potential applications of GPS in PTW studies are expected to expand, offering more sophisticated and comprehensive solutions for traffic management, safety enhancement, and urban planning in the context of mixed-traffic environments.

Bibliography

- [1] G. Asaithambi, V. Kanagaraj and T. Toledo, "Driving behaviors: Models and challenges for non-lane based mixed traffic," *Transportation in Developing Economies*, vol. 2, no. 2, pp. 1-16, 2016.
- [2] G. Asaithambi and S. Basheer, "Analysis and modeling of vehicle following behavior in mixed traffic conditions," *Transportation research procedia*, vol. 25, pp. 5094-5103, 2017.
- [3] T. Lee and K. Wong, "An agent-based model for queue formation of powered two-wheelers in heterogeneous traffic," *Physica A: statistical mechanics and its applications*, vol. 416, pp. 199-216, 2016.
- [4] S. Espié, A. Boubezoul, S. Aupetit and S. Bouaziz, "Data collection and processing tools for naturalistic study of powered two-wheelers users' behaviours," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 58, pp. 330-339, 2013.
- [5] J. Herrera, D. Work, R. Herring, X. Ban, Q. Jacobson and A. Bayen, "Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The Mobile Century field experiment," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 18, no. 4, pp. 568-583, 2010.
- [6] D. Pham, B. A. Mai Hoang, S. N. Thanh, H. Nguyen and V. Duong, "A Constructive Intelligent Transportation System for Urban Traffic Network in Developing Countries via GPS Data from Multiple Transportation Modes," *IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1729-1734, 2015.
- [7] H. Mai-Tan, H. Pham-Nguyen and N. Long, "Mining Urban Traffic Condition from Crowd-Sourced Data," *SN COMPUT. SCI.* 1, no. 225, 2020.

- [8] A. Kemajou, R. Jaligot, M. Bosch and J. Chenal, "Assessing motorcycle taxi activity in Cameroon using GPS devices," *Journal of transport geography*, vol. 79, no. 102472, 2019.
- [9] M. Asvial, G. Pandoyo and S. Arifin, "Internet of Things Solution for Motorcycle Riders to Overcome Traffic Jam in Jakarta Using EBkSP," 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), pp. 636-638.
- [10] F. Babu, P. Vortisch and T. Mathew, "Modelling of motorcycle movements in mixed traffic conditions," *Proceedings of the Transportation Research Board (TRB) 94th Annual Meeting*, 2015.
- [11] D. Santos, J. Saias, P. Quaresma and V. Nogueira, "Machine Learning Approaches to Traffic Accident Analysis and Hotspot Prediction," *Computers*, vol. 10, no. 12, p. 157, 2021.
- [12] Y. Koyama, T. Liang and T. Tanaka, "High-precision GPS measurement for motorcycle trajectory using Kalman filter," *Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS)*, pp. 1-4, 2009.
- [13] S. Cafiso, A. Di Graziano, O. Giudice and G. Pappalardo, "Using GPS data to detect critical events in motorcycle rider behaviour," *International Journal of Mobile Network Design and Innovation*, vol. 5, no. 4, pp. 195-204, 2014.
- [14] G. Yalcin and H. Duzgun, "Spatial analysis of two-wheeled vehicles traffic crashes: Osmaniye in Turkey," *KSCE journal of civil engineering*, vol. 19, no. 7, pp. 2225-2232, 2015.
- [15] Minh, C.C., Sano, K. and Matsumoto, S., 2005. The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, pp.1496-1508.
- [16] Putra, A.R. and Sukoco, A., 2017, October. Analysis Of Position Tracking Using Motorcycle GPS Tracking. In *International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD)*.
- [17] Kanagaraj, V., Asaithambi, G., Toledo, T. and Lee, T.C., 2015. Trajectory data and flow characteristics of mixed traffic. *Transportation Research Record*, 2491(1), pp.1-11.
- [18] Wong, K.I., LEE, T.C. and CHEN, Y.Y., 2016. Traffic characteristics of mixed traffic flows in urban arterials. *Asian Transport Studies*, 4(2), pp.379-391.
- [19] Barmounakis, E.N., Vlahogianni, E.I. and Golias, J.C., 2015. Intelligent transportation systems and powered two wheelers traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(4), pp.908-916.
- [20] Barmounakis, E. and Geroliminis, N., 2020. On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. *Transportation research part C: emerging technologies*, 111, pp.50-71.

Balıkesir İli Engelli Bireylerin Ulaşımı

Necla Tektaş¹, Hatice Merve Peker^{2*}

¹Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

²Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği,
Bandırma, Türkiye

* hmervepeker@gmail.com

ORCID-<https://orcid.org/0000-0002-8190-4532>¹, ORCID-<https://orcid.org/0000-0003-0453-9057>²

Özet

Kırsaldan kentlere göçün artışı nedeniyle şehirdeki nüfus artışı, ekonomik gelir artışı ve buna bağlı olarak araç sahipliğinin artışı trafik yoğunluğunu ve ulaşım sorunlarını etkileyen en önemli unsurlar olmuştur. Bununla birlikte engelli bireyler için ulaşım sorunları toplumdaki engelli artışı nedeniyle daha da önemli hale gelmiştir. Özellikle engelli bireyler için ulaşım düşünülmesi ve çözülmesi gereken çok önemli sorunlar gittikçe artmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için gerek özel sektör gerek kamu sektörü ve ilgili bakanlıklar çeşitli çözümler ve ürünler sunmaktadır. Fakat bunların uygulanması mevzuatı yasal sorumlulukların yaygınlaştırılması, ticarileştirilmesi önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun en önemli göstergelerinden biri ulaşım fırsat eşitliğinin kullanılmamasıdır. Ayrıca bu fırsat eşitsizliğini ortadan kaldırmak için engelli bireylerin sorunlarını ele alan yeterli çalışmalar bulunmamaktadır. Bu boşluğu doldurmak ve benzer çalışmalara zemin hazırlamak için Balıkesir Büyükşehir Belediyesi özelinde engelsiz ulaşım çalışması olarak bu çalışma yapılmıştır. Bu amaçla engelli bireylerin kent içi ulaşım karşılaştıkları sorunlar, beklentileri, farkındalıkları ve kendilerine sunulan hizmetlerden memnuniyetlerini belirlemek ve çözüm önerileri geliştirmek amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır. Bu anket çalışması sonucunda edilen verilerin istatistik analizleri yapılarak sonuçlar yorumlanmış ve Balıkesir özelinde çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Akıllı Ulaşım; Akıllı Kent; Engelli Ulaşımı

Transportation Recommendations For The Disabled: The Case Of Balıkesir

Abstract

Due to the increase in migration from rural to urban areas, population growth in the city, economic income increase and the resulting increase in vehicle ownership have been the most important factors affecting traffic density and transportation problems. However, transportation problems for disabled individuals have become even more important due to the increase in disabilities in society. Very important problems that need to be considered and solved in transportation, especially for disabled individuals, are increasing. In order to overcome these problems, both the private sector, the public sector and relevant ministries offer various solutions and products. However, their implementation, legislation, dissemination of legal responsibilities and commercialization appear to be an important

problem. One of the most important indicators of this is the lack of equal opportunity in transportation. Additionally, there are not enough studies addressing the problems of disabled individuals in order to eliminate this inequality of opportunity. In order to fill this gap and prepare the ground for similar studies, this study was carried out as a barrier-free transportation study specifically for Balıkesir Metropolitan Municipality. For this purpose, a survey was conducted to determine the problems disabled individuals encounter in urban transportation, their expectations, awareness and satisfaction with the services offered to them, and to develop solution suggestions. Statistical analysis of the data obtained as a result of this survey was made, the results were interpreted and inferences were made specifically for Balıkesir.

Keywords: Smart Transportation, Smart City, Disabled Transportation

1. Giriş

Kentlerde iş, eğitim, sağlık vb. olanakların daha fazla olması kırsaldan kente göçün en temel sebeplerinden birini oluşturmaktadır. Nüfus artışı ile beraber orantılı olarak kentlerin büyümesi ekonomik, sosyal, çevresel ve ulaşım gibi alanlarda günlük yaşantımızı etkileyen değişimleri de beraberinde getirmektedir. Her geçen gün artan nüfus ve araç sayısı trafikte sıkışıklığa sebebiyet vermektedir. Trafik yoğunluğundaki artış ile beraber yakıt tüketimi ve havaya salınan karbon miktarı da artış göstermektedir. Bu durum bilgi ve iletişim teknolojilerini birçok alanda olduğu gibi ulaşım alanında da kullanmayı zorunlu hale getirmekte ve akıllı şehirlerin temelini oluşturmaktadır.

Kentlerde meydana gelen bu keşmekeşlik kent sakinlerinin gündelik hayatını fazlasıyla etkilerken engelliler için daha fazla sorun teşkil etmektedir. Engelli bireylerin önlerindeki en büyük sorunlardan bir tanesi şüphesiz ki ulaşım sorunudur. Şehirler tasarlanırken o şehirde yaşayan insanlara uygun olacak şekilde yapılandırılması önem arz etmektedir. Fakat geçmişte yapılan çalışmalara baktığımız zaman yaşadığımız çevrenin çoğu alanında engelli bireylerin gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmadığı gözlenmektedir. Yollardan kaldırımlara, parklardan kamu binalarına, konutlardan ulaşım araçlarına kadar günlük hayatımızda büyük payı olan mekânların engelli bireylerin sosyal hayata katılmasında ciddi bir engel taşıdığı söylenebilir. Tüm bu nedenlerden dolayı engelliler kendilerini eksik hissetmekte ve sosyal hayattan daha da soyutlanır hale gelmektedir. Günümüzde ise kentler akıllı şehircilik anlayışı ile tasarlanırken engelli bireylerin sosyal hayatla bütünleşmesini sağlayacak, onların yaşam standartlarını arttırıp hayatlarını kolaylaştıracak birçok proje uygulamaya geçmektedir. Engellilerin kullanımına yönelik yapılan bu çalışmaların akıllı kentlerin meydana gelmesinde önemli bir yer tuttuğu aşikârdır.

Bu çalışmada Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'nin sunduğu kent içi toplu ulaşımda engelli bireylerin karşılaştıkları sorunlar, beklentileri, farkındalıkları ve kendilerine sunulan hizmetlerden memnuniyetlerini belirlemek ve çözüm önerileri geliştirmek amacıyla yapılmıştır.

2. Engelli Tanımı

5378 Sayılı Engelliler Kanunu'nun 3. Maddesine göre engelli; "doğuştan veya sonradan herhangi bir nedenle bedensel, zihinsel, ruhsal, duyuşsal ve sosyal yeteneklerini çeşitli

derecelerde kaybetmesi nedeniyle toplumsal yaşama uyum sağlama ve günlük gereksinimlerini karşılama güçlükleri olan ve korunma, bakım, rehabilitasyon, danışmanlık ve destek hizmetlerine ihtiyaç duyan kişidir.” şeklinde tanımlanmaktadır [4]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) aynı tanımlamaya, “bağımsız hareket edebilmesi için yapılarda ve açık alanlarda özel fiziki düzenlemelere gereksinim duyan kişidir” ifadesini eklemiştir.

Dünya Sağlık Örgütü-World Health Organization (WHO) engelli olma durumunu, “kişiden ya da bir bütün olarak vücuttan beklenen davranışlar, yetenekler ve görevler olarak ifade edilen normal aktivitelerin yerine getirilmesindeki eksiklik ya da sınırlılık”, “bir yetersizlik veya özür nedeni ile yaşa, cinsiyete, sosyal ve kültürel faktörlere bağlı olarak kişiden beklenen rollerin kısıtlanması veya yerine getirilememesi” olarak tanımlamaktadır [5]. WHO’ya göre özürlülük, sakatlık ve engellilik üç başlık altında toplamıştır. Özürlülük “Kişinin fizyolojik, psikolojik, anatomik ya da işlevlerindeki herhangi bir eksiklik ya da anormalliktir.”. Sakatlık, “Özürlülük durumunda meydana gelen ve tüm uzuvlarını aktif olarak kullanan bir kişinin başarılı şekilde gerçekleştirdiği aktiviteleri gerçekleştirirken meydana gelen sınırlı olma durumudur”. Bu durum geçici, sürekli ve ilerleyen tipte olabilmektedir. Engellilik ise “Özürlü ve sakat olma durumunda normal aktivitelerin tamamlanamayıp eksik kalması durumudur” [6].

Engellilik; zihinsel, görme, işitme, fiziksel, spastik, hiperaktivite bozukluğu, yaygın gelişimsel bozukluk, dil ve konuşma bozukluğu, öğrenme güçlüğü gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflar içerisinde en yaygın olanı bedensel engelliliktir. Bedensel engelliler ile ilgili net bir tanım olmamakla beraber Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 1999) bedensel engelliliği, “normal insan hareketliliğine sahip olmayan ve hareket organlarında eksiklik bulunduğundan yardımcı cihaz ve araçla hareket edebilen kişi” olarak tanımlamıştır [7]. Aynı zamanda “tekerlekli sandalye kullanan engelli ve kullanmayan engelli” olacak şekilde bir sınıflandırma yapmıştır. Bu sınıflandırmaya göre tekerlekli sandalye kullanan engelliler, “yürüme engeli olan veya yürümesi sakıncalı olan kişiler” şeklinde ifade edilirken, yürüyebilen engelli ise “baston, değnek, protez gibi yardımcılarla hareket edebilen kişiler” olarak ifade edilmektedir.

Başbakanlık Özürsüzer İdaresi Başkanlığı (ÖZİDA) nın tanımına göre; “Doğum öncesi, doğum esnası ve doğum sonrası dönemde herhangi bir nedenle, iskelet(kemik), kas ve sinir sistemindeki bozukluklar sonucu, bedensel yeteneklerini çeşitli derecelerde kaybetmesi nedeniyle toplumsal yaşama uyum sağlama ve günlük gereksinimlerini karşılamada güçlükleri olan ve korunma, bakım, rehabilitasyon, danışmanlık ve destek hizmetlerine ihtiyaç duyan kişiye ortopedik engelli, buna yol açan duruma ise ortopedik engel” şeklindedir [8].

2.1 Engellilerin Sorunları

Engelli bireyler, geçmişten bugüne kadar birçok problemle karşı karşıya kalmışlar ve yaşadıkları bu problemler özellikle 2.Dünya Savaşı’ndan sonra gündeme gelmiştir. Bununla beraber, insan hakları konusunda yaşanan olumlu gelişmeler devletlerin ve toplumun engelli kişilere karşı daha duyarlı hale gelmesine ve onların her alana uyum sağlayabilmeleri için çalışmaların başlamasına neden olmuştur. 1945 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tarafından engelliler ile alakalı çalışmalara başlanmış ve 1948’te ilan edilen İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi’nde herkesin eşit haklara sahip olduğuna yer verilmiştir.1981 yılının ise BM tarafından Özürsüzer Yılı ilan edilmesi ile dikkatler engelli bireylere çekilmiş ve 1983-1992 yılları Birleşmiş Milletler Özürsüzer On Yılı olarak duyurulmuştur. Engelli bireylerin problemlerine yönelik insanları bilinçlendirme çalışmaları ise Özürsüzer İnsanlara Yönelik Eylem Programı ile beraber

yaygınlaştırılmıştır. Amacı engellilerin sosyal hayata entegrasyonu ve eşit fırsatlara sahip olmaları olan “Asya-Pasifik Özürlüler On Yılı” 1993-2002 yıllarında başarılı politikalar ortaya koymuştur. 2003 senesi ise Avrupa Konseyi tarafından “Özürlüler Yılı” olarak ilan edilmiştir. BM tarafından alınan karar neticesinde engelsiz bir hayat için yeni politikalar üretilmesi amacı ile “Asya-Pasifik Özürlüler On Yılı’nın” 2003-2012 yılları arasında 10 yıl daha uzatılmasına karar verilmiştir. Bu sürede Türkiye Cumhuriyeti bölge ülkelerin yer aldığı toplantılara üye ülke olarak katılmıştır. 13 Aralık 2006 tarihinde “Engellilerin Hakları Sözleşmesi” BM Genel Kurulu’nda kabul edilerek Türkiye ile beraber 80 ülke tarafından 30 Mart 2007’de imzalanmıştır [9]. İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi’nin 2. maddesinde “herkesin ırk, renk, cins, siyasal veya dini inanç ya da etnik köken ya da herhangi başka bir durumdan dolayı ayrıma uğramaksızın, bildiride belirtilen hak ve özgürlüklerden yararlanma hakkının olduğu” ve bildirgenin 24. Maddesinde “herkesin eğlenme ve dinlenme hakkının olduğu” belirtilmiştir. Engelli kişilerin sosyal hayata katılması ve eşit fırsatlara sahip olması tartışılmaz bir konudur. Bu nedenle, şehirlerdeki tüm hizmetlerin ve yapıların o şehirde yaşayan engellilerin de dikkate alınarak planlanması gerekmektedir. Bu çalışmalar yapılırken engellilerin talep ve beklentileri göz önüne alınmalı, buna göre hareket edilmelidir. Bu bilinç ise “engellileri yaşamları içerisinde daha engelli hale getiren şartların” belirlenmesi ve bu durumun çözümüne yönelik etkin politikaların üretilmesi ile olabilecektir. BM Eski Genel Sekreteri Kofi Annan 1997 yılında Dünya Engelliler Günü’nde gerçekleştirdiği konuşmasında engelli bireyleri dünya üzerindeki en büyük azınlık şeklinde tanımlamıştır. Eldeki veriler de Kofi Annan’ın bu tanımını destekler niteliktedir. Gelişmiş birçok ülkede, ülkenin toplam nüfusunun ortalama olarak %15-%20’sinin engellilerden oluştuğu gözlenmektedir [10].

2003 yılında Eurostat tarafından yapılan bir araştırmaya göre Finlandiya’da bulunan nüfusunun %32,2’si, Hollanda’daki nüfusunun %25,4’ü, İngiltere nüfusunun %27,2’si, İtalya nüfusunun %6,6’sı ve Romanya nüfusunun %5,8’i engellilerden meydana geldiği görülmüştür [11]. Dünya Bankası- World Bank(WB) ve WHO tarafından 2011’de yayınlanan raporda dünya nüfusunun yaklaşık olarak %15’inin engelli bireylerden oluştuğu görülmektedir [12]. 2030 yılına gelindiğinde ise tüm dünyadaki engelli birey sayısının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir [13].

Birleşmiş Milletlerin Engelli İstatistik Raporu’na göre insanların yaşlandıkça hareketlerinin de aynı oranda kısıtlanma durumundan dolayı yaşlılık ve engelli olma durumu arasında ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır [14]. Yaşlıların, hamilelerin, kronik rahatsızlığı olanların, obezitenin, boyu normalden kısa olan kişilerin hizmetlerden faydalanma ihtiyacının olduğu düşünülerek herkesin kullandığı alanların özel ihtiyaçlı bireylere göre düzenlenmesi gerekmektedir [15]. Avrupa nüfusunun yaşlanması ve meydana gelecek olan kazalardan dolayı engelli birey sayısında artış olacağı öngörülmektedir. Erişilebilir hizmetlerin gelişme göstermesi ile beraber engeli olan bireylerin sosyal hayat, ulaşım, iş, eğitim ve eğlence gibi birçok alanda katılımının artması öngörülmektedir [16]. Daha donanımlı ulaşım araçlarına ve erişilebilir mimariye kavuşan, doğru bilgilendirilen, yasal, sosyal ve ekonomik haklara sahip olan ve toplumla bütünleşen engelli bireylerin, bu durumun doğal bir sonucu olarak günlük hayata katılımlarının artması sonucunu ortaya çıkaracaktır.

2.2 Türkiye Engelli Araştırması

Türkiye genelinde engellilerin il bazında dağılımını gösteren son çalışma 2011 yılında gerçekleştirilen Nüfus ve Konut Araştırması’dır. ADNKS(Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi)’de

bulunmayan verileri il bazlı elde etmek amacıyla örnekleme yöntemi ile belirlenen sayım yerlerinde bulunan yaklaşık 2,2 milyon hane ve tam sayım yöntemi ile kurumsal alanlarda bulunan kişiler ile gerçekleştirilmiştir. TÜİK tarafından yapılan bu araştırmaya göre hane halkının yaklaşık olarak %13'ünden veri toplanmış ve ortalama 9 milyon kişi ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar gerekli derlemelerden sonra 2013 yılında yayımlanmıştır [17].

Dünya geneline bakıldığında engellilik tanımı ve sınıfı değişkenlik göstermekte ve bu durum da engelli bireylerin profiline yönelik veri toplama kriterlerine etki etmektedir. Birleşmiş Milletler yapısında görev alan ve araştırma çalışmaları için soru geliştiren "Washington Grup" un önerileri baz alınarak Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından engelliliğe ilişkin birtakım sorular hazırlanmıştır. Bu sorular aynı zamanda WHO tarafından geliştirilen İşlevsellik, Engellilik ve Sağlığın Uluslararası Sınıflandırılması (ICF) ile de entegre olacak şekilde hazırlanmıştır [17]. Yapılan bu araştırmada engellilik, fonksiyonlardaki sınırlılığa odaklanarak görme, duyma, konuşma, yaşlılarına göre öğrenme/basit dört işlem yapma, hatırlama/dikkatini toplama alanlarıyla hareket güçlüğü (yürüme, taşıma, tutma ve merdiven inip çıkma) şeklinde tanımlanmış ve bu alanlardan en az birinde çok zorlandığını veya hiç yapamadığını belirten kişiler en az bir tane engele sahip nüfus kapsamında değerlendirilmiştir. Nüfus ve Konut Araştırması'nda görüşülen kişilere 6 (altı) farklı engel türüne göre aşağıdaki sorular yöneltilmiştir [17].

1. Görmede güçlük çekiyor musunuz? (Gözlük veya lens kullanıyor olsanız bile)
2. Duymada güçlük çekiyor musunuz? (İşitme cihazı/implant kullanıyor olsanız bile)
3. Konuşmada (konuşma bozukluğu, tutukluk, kekemelik gibi nedenlerden dolayı) güçlük çekiyor musunuz?
4. Yürümede, merdiven çıkmada veya inmede güçlük çekiyor musunuz?
5. Bir şeyler taşımada veya tutmada güçlük çekiyor musunuz?
6. Yaşlılarınıza göre öğrenmede, basit dört işlem yapma, hatırlama veya dikkatinizi toplamada güçlük çekiyor musunuz? [17]

Araştırmadan elde edilen veriler doğrultusunda engelli kişilerin yaşları ve cinsiyetlerine göre dağılımı aşağıda Tablo 1’de gösterilmiştir.

Engelli Birey	Nüfus Oranı (%)	Erkek (%)	Kadın (%)
Tüm yaş grupları	6,9	5,9	7,9
3-9	2,3	2,5	2,1
10-14	2,1	2,4	1,8
15-19	2,3	2,6	2,0
20-24	2,7	3,4	2,0
25-29	2,6	3,0	2,3
30-34	3,2	3,4	3,0
35-39	4,0	4,0	4,1
40-44	5,1	4,7	5,6
45-49	6,9	5,9	7,8
50-54	8,8	7,1	10,7
55-59	12,1	9,2	15,0
60-64	16,5	12,3	20,4
65-69	23,0	18,3	27,2
70-74	31,9	26,3	36,3
75+	46,5	40,9	50,3

Tablo 1: Cinsiyet ve yaşa göre en az bir engeli bulunan kişilerin genel nüfus içindeki oranı, 2011 [17]

2.3 Engelli Bireylerin Ulaşım Problemleri

Engelli bireylerin günümüzde yaşadıkları problemlerden bir tanesinin ulaşımdan kaynaklı olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Yol, kaldırım vb. kamuya açık alanların engellilere uygun dizayn edilmemesi, toplu taşıma araçlarının, durakların, kamu dairelerinin onların kullanımına uygun şekilde tasarlanmaması engelli vatandaşları ve ailelerini zora sokmaktadır. Sosyal hayattaki sınırlılıklarına bir de çevredeki olumsuzluklar ilave edildiğinde kamuya açık alanlar tek başına birengelli birey görmek nerdeyse imkânsız hale gelmektedir. Bu durum onların bağımsız hareket etmelerine engel teşkil etmektedir.

Günlük hayatta kaldırımların üzerine park edilmiş araçlar, hissedilebilir zeminlerin tezgâh, araç vs. gibi şeylerle kapatılarak geçişin engellenmesi, toplu taşıma araçlarına rahat bir şekilde binip inmek için rampa bulunmaması ya da standartlara uygun olmaması, engellilere özel bir bölümün bulunmaması, duraklarda engellilerin kullanımına uygun olacak şekilde uygulamaların bulunmaması ya da durakların doğru bir şekilde konumlandırılmaması, ikaz sistemleri çalışmayan trafik lambaları, kamuya açık alanların engelliler tarafından sorunsuz bir şekilde kullanılmasını sağlayacak görsel veya işitsel öğelerin bulunmaması gibi birçok örnek vermek mümkündür. Aslına bakıldığında bu kişilere vücutlarındaki eksiklikleri değil, kişilerin sorumsuzlukları ya da bir yapı inşa edilirken onların da düşünülüyor olması kısıtlamaktadır.

Toplumsal Haklar ve Araştırmalar Derneği'nin yaptığı bir çalışmaya göre 61 ilde hizmet veren 12 417 toplu taşıma aracının %33'ünde engelli rampası, %7'sinde görme engeli olanlar için

anons sistemi, %6'sında işitme engelliler için bilgi ekranı bulunmaktadır. 81 il belediyelerine yapılan başvurular sonucunda dönüş yapan 51 ilin toplam 110 538 sokak, cadde ve arterlerde %16'sında rampa, %3'ünde hissedilebilir zemin, %2'sinde sesli sinyalizasyon sistemi bulunduğu tespit edilmiştir [18].

Akıllı Şehir kavramı hayatımıza girdiği günden bu yana bu konuda iyileştirme çalışmalarının yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu konuda özellikle engelli topluluklarının ve engelli bireylerin ailelerinin seslerini duyuracak çalışmalar yapmaları, farkındalık oluşturacak faaliyetler ve bu konudaki çabaları etkili olmaktadır. Aynı zamanda devletin bu konuda, kanunlar çerçevesindeki yaptırımları da insanları duyarlı hale getirmekte, özellikle yerel yönetimleri bu alanda farkındalık oluşturacak projeler yapmaya itmektedir.

2.4 Engelli Ulaşımı Kapsamında Balıkesir İlinin İncelenmesi

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi verilerine göre il merkezinde hizmet veren 64 adet toplu taşıma aracı bulunmaktadır. Hâlihazırda faaliyette olan araçların tamamı erişilebilir şekilde tasarlanmıştır. Balıkesir Büyükşehir Belediyesi çatısı altında bulunan Balıkesir Toplu Taşıma A.Ş. tarafından sağlanan ulaşım hizmeti 20 ilçede sürdürülmektedir. Şekil 1'de yer alan ulaşım haritasından da görüldüğü üzere ilin ulaşım ağının çok geniş olduğunu söylemek mümkündür. Dolayısıyla ulaşımın doğru planlanması şehir sakinlerinin refahı için önem arz etmektedir.



Şekil 6: Balıkesir ulaşım haritası

Balıkesir'de yaşayan engellilerin sayılarına ilişkin yapılan en son çalışma Balıkesir Valiliği Aile ve Sosyal Politikalar İl Müdürlüğü ve Güney Marmara Kalkınma Ajansının birlikte yürüttüğü "Balıkesir İl Engelli Veri Tabanı Araştırma Projesi" kapsamında yapılmıştır. 2013 yılında Balıkesir nüfusunun %12'sinin engellilerden meydana geldiği belirtilmiştir [19].

3. Materyal ve Metot

Araştırmanın amacı, Balıkesir ilinde yaşayan engelli bireylerin Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'nin kent içi ulaşım araçlarında engellilere sağladığı hizmetler kapsamında beklenti

ve memnuniyetlerini tespit etmek üzere yüz yüze ve online olarak toplanan bilgiler ışığında kent içi toplu ulaşımın engelli bireyler için daha iyi hale getirecek öneriler sunmaktır.

Araştırmanın modeli ilişki tanımlama modelidir. Bu model, iki veya daha çok sayıdaki değişken arasındaki ilişkinin varlığını ve/veya derecesini belirlemeyi amaçlamaktadır [1]. Bu anlamda; Balıkesir ilinde yaşayan engellilerin demografik özellikleri, Balıkesir Büyükşehir Belediyesi'nin ulaşımında engellilere sağladığı hizmetler ve engellilerin beklentileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırmanın ana kütlesi olan Balıkesir ilinde yaşayan engelli bireylerdir. Balıkesir'in 2022 nüfusu 1 254 779'dur. 2011 yılı verilerine göre Balıkesir ili toplam nüfusu 1 154 314 olup engelli sayısı 20 569 ve engelli nüfusun toplam nüfusa oranı %1.74 olarak belirtilmiştir. 2019 yılında engelli nüfusun yaklaşık 22 418 kişi olduğu tahmin edilmektedir [2].

Tablo 2. Anakütle ve örneklem büyüklükleri [3]

Ana Kütle Büyüklüğü	$\alpha=0.05$ için gereken Örneklem büyüklükleri ± 0.10 örnekleme hatası($p=0.5$)
100	49
500	81
750	85
1000	88
2500	93
5000	94
10000	95
25000	96
50000	96
100000	96
1000000	96
100 milyon	96

Araştırmamız için örneklem sayısı hesaplamak için istatistiksel olarak 100 000'den büyük ana kütlelerde %95 güven düzeyinde %10 hata payının kabul edilebilir olduğu örneklem sayısının 95 olduğu yukarıdaki Tablo 1'den görülmektedir [3]. Araştırmada yer alan bireylere ulaşmak için engel türüne göre kurulmuş engelli dernekleri, tüm engelleri kapsayan engelli dernekleri ve genel olarak engellilerle ilgili kamu kuruluşlarına gidilerek buralarda engellilerden gönüllülük esasına uygun şekilde veriler toplanmıştır.

Balıkesir ilinde yaşayan engellilerin kent içi ulaşımında karşılaştıkları sorunlar, belediyenin sağladığı hizmetler ve engellilerin beklentilerinin tespit edilmesi amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Yapılan bu literatür taraması sonucunda, veri toplama aracı olarak anket tekniği tercih edilmiş ve verilerin toplanması amacıyla soru formu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu form aynı zamanda online da kullanılabilmesi için aynı formun online formu da hazırlanmıştır. Araştırmada veri toplama aracı olarak kullanılan anket soru formunun birinci bölümünde, engellilerin demografik özelliklerini belirlemek amacıyla cinsiyet, eğitim durumu, yaş, meslek, engel türü, engellilik oranı, engel oluş biçiminden oluşmaktadır. İkinci bölümde engelliler için kent içi ulaşımında kullanılan uygulamalar ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından engelliler için kent içi ulaşımında kullanılan uygulamalar hakkındaki bilgileri, farkındalıkları,

engellilerin ulaşım amaçları ve sıklığını kapsayan bölümden oluşmaktadır. Üçüncü bölümde Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından hizmet veren kent içi toplu ulaşım araçlarının fiziki durumu, temizliği, sefer saatleri vb. toplu ulaşım araçlarındaki sürücülerin tutum ve davranışlarından memnuniyeti, durakların engelli yolcular için uygunluk durumunun yer aldığı sorulardır. Dördüncü bölümde şehircilik anlamında engelli uygulamalarından memnuniyetin belirlenmesi amacıyla oluşturulan bölüm ve engelli kullanıcıların kent içi ulaşım ile ilgili taleplerini ve önerilerini yazdığı açık uçlu sorulardan oluşmaktadır.

Balıkesir ilinde yaşayan engellileri kapsayan ve 109 katılımcıdan anket yöntemiyle elde edilen verilerin analizinde JAMOVI programı kullanılmıştır. Toplamda 118 anket doldurulmuş olup bunlardan 9 âdeti kullanılamaz durumda olduğundan 109 adet üzerinden analizler yapılmıştır. Bazı sorulara cevap verilmediğinden dolayı analizler cevap verilenler üzerinden yapılmıştır.

Araştırmada veri toplama aracı olarak kullanılan anket soru formunun birinci bölümünde, engellilerin demografik özelliklerini belirlemek amacıyla cinsiyet, eğitim durumu, yaş, meslek, engel türü, engellilik oranı, engel oluş biçiminden oluşmaktadır. İkinci bölümde engelliler için kent içi ulaşımında kullanılan uygulamalar ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından engelliler için kent içi ulaşımında kullanılan uygulamalar hakkındaki bilgileri, farkındalıkları, engellilerin ulaşım amaçları ve sıklığını kapsayan bölümden oluşmaktadır. Üçüncü bölümde Balıkesir Büyükşehir Belediyesi tarafından hizmet veren kent içi toplu ulaşım araçlarının fiziki durumu, temizliği, sefer saatleri vb. toplu ulaşım araçlarındaki sürücülerin tutum ve davranışlarından memnuniyeti, durakların engelli yolcular için uygunluk durumunun yer aldığı sorulardır. Dördüncü bölümde şehircilik anlamında engelli uygulamalarından memnuniyetin belirlenmesi amacıyla oluşturulan bölüm ve engelli kullanıcıların kent içi ulaşım ile ilgili taleplerini ve önerilerini yazdığı açık uçlu sorulardan oluşmaktadır. Anket uygulamasına katılanların demografik bilgilerinin yer aldığı bölümün analizinde frekans tabloları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara tablo 3'te yer verilmiştir.

Tablo 3. Katılımcıların demografik bilgileri

Cinsiyet	n	%
Erkek	67	0.61
Kadın	42	0.39
Toplam	109	1.00
Yaş	n	%
18 yaş altı	5	0.05
18-24	6	0.06
25-34	33	0.30
35-44	45	0.41
45-54	14	0.13
55-64	4	0.04
65 ve üstü	2	0.02
Toplam	109	1.00
Öğrenci	8	0.07
Memur	41	0.38
İşçi	24	0.22

Çalışmıyor	21	0.19
Emekli	11	0.10
Diğer	4	0.04
Toplam	109	1.00
Eğitim durumu	n	%
İlkokul	12	0.11
Lise	38	0.35
Okur-yazar değil	2	0.02
Ortaokul	11	0.10
Lisans	41	0.38
Lisansüstü	5	0.05
Toplam	109	1

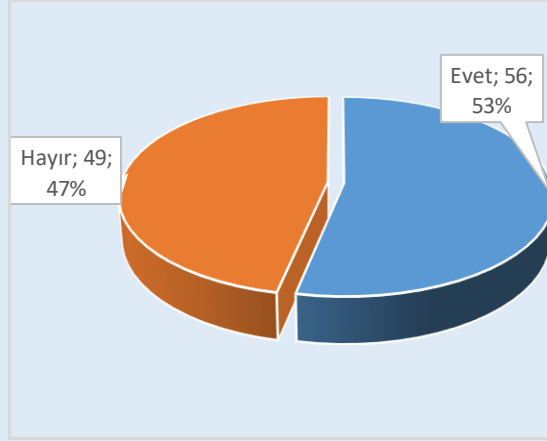
Katılımcıların cinsiyet dağılımına bakıldığında erkek 67 (%61) ve 42(%39) dur. Yaş değişkeninde 18 yaş altında olanların 5(%0.05), 18-24 yaş 6(%0.06), 25-34 yaş 33 (%0.3), 35-44 yaş (%0.41), 45-54 yaş 14(%0.13), 55-64 yaş 4(%0.04) ve 65 yaş üstü 2(%0.02) kişi olduğu görülmektedir. Katılımcıların ağırlıklı olarak 35-44 yaş aralığından oluştuğu ve çalışan kesimin katılım oranının yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Katılımcıların engellilik bilgileri

Engel Türü	n	%
Görme	16	0.15
İşitme	17	0.16
Zihinsel	15	0.14
Ortopedik	39	0.36
Dil ve Konuşma	3	0.03
Ruhsal ve Duygusal	4	0.04
Süreğen	8	0.07
Diğer	7	0.06
Toplam	109	1
Engel oluşum sebebiniz	n	%
Doğuştan	56	0.51
Hastalık sonucu	38	0.35
Kaza sonucu	15	0.14
Toplam	109	1
Engellilik oranı	n	%
%20-%39	4	0.04
%40-%69	59	0.54
%70 ve üzeri	46	0.42
Toplam	109	1

Tablo 4'e göre engel türü değişkenine bakılacak olursa katılımcıların 39(%0,36) ile ortopedik engellilerden oluştuğu ve %51'lik kesimin engel oluşum sebebinin doğuştan olduğu

saptanmıştır. Engellilik oranı ise %40-%69 oranlarına sahip 59 kişinin çoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir. Katılımcılara yöneltilen sorular ve verdikleri yanıtlar aşağıdaki gibidir.



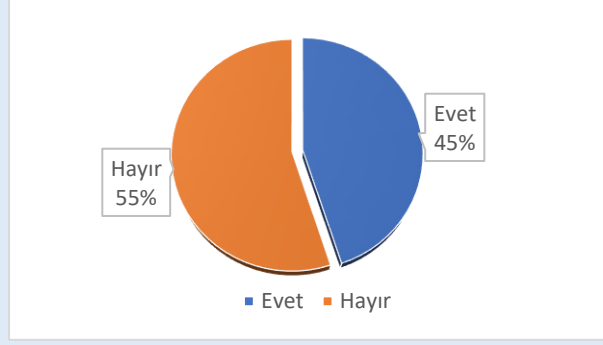
Şekil 2: İlimizde bulunan engellilere yönelik ulaşım teknolojilerinden ve uygulamalarından haberdarlık

Balıkesir ilinde bulunan engellilere yönelik ulaşım teknolojileri ve uygulamaları hakkındaki bilgilerini belirlemek amacıyla sorulan soruya evet cevabı 56(%53) kişiden gelmiştir. Bunlardan haberdar olmayanların 49(%47) gibi büyük bir oranda bilmedikleri ortaya çıkmıştır.

Tablo 5. İlimizde bulunan uygulamaların bilinirliği

	n	%
Engelli hizmet aracı	29	0.22
Rampa	17	0.13
Sesli buton	8	0.06
Nokta kabartmalı şerit	13	0.10
Asansör	28	0.21
Engelli otoparkları	28	0.21
Engelsiz plaj uygulaması	9	0.07
Toplam	132	1.00

Balıkesir ilinde bulunan engellilere yönelik ulaşım teknolojilerinden ve uygulamalarından haberdar olan 56 (%53) kişinin bildikleri uygulamaları tespit etmek amacıyla oluşturulan Tablo 5'e göre en çok bilinen uygulamanın engelli hizmet aracı 29 (%0.22), en az bilinen uygulamanın ise 8 (%0.06) ile sesli buton olduğu saptanmıştır. Görme engelli katılımcı sayısının 16 kişi olduğu anket çalışmasında sesli buton uygulamasının görme engelli kişiler arasında çok fazla bilinmediği tespit edilmiştir. Engelsiz plaj uygulamasının sesli buton uygulamasından sonra en az bilinen hizmet olduğu Tablo 5'de görülmektedir. Bu durum da Belediye tarafından sağlanan hizmetin sadece pilot alanlarda uygulanarak yaygınlaştırılmadığı ve görünürlük faaliyetlerinin yeteri kadar yapılmadığı sonucunu göstermektedir. Katılımcıların birden fazla seçeneği işaretleyebildiği soruda yaygın olarak bilinen diğer uygulamaların ise 28'er (%0.21) kişi ile asansör ve engelli otoparkları olduğu saptanmıştır.



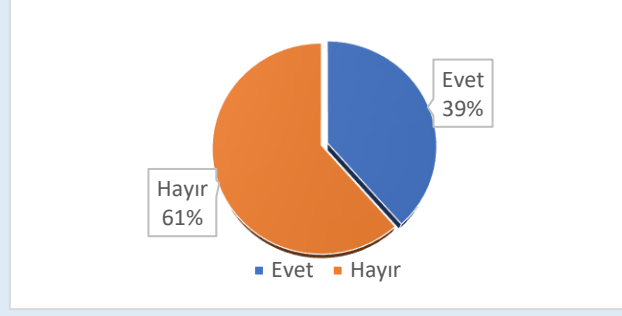
Şekil 3. Engellilere verilen teknolojik destekten memnuniyet durumu

Katılımcılara ülke genelinde engellilere verilen teknolojik destekten memnuniyetleri sorulduğunda %55 ile hayır, %45 ile evet cevabını verdikleri gözlemlenmiştir. Şekil 3'e göre verilen cevapların birbirine yakın oldukları saptanmıştır. Ülke genelinde engelli yolcular için kullanılan teknoloji ve uygulamalardan hangilerini bildikleri sorulmuş ve verilen cevaplar Tablo4- 6'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Ülke genelinde bulunan engelli uygulamalarından haberdarlık

	n	%
Sesli buton	27	0.08
Nokta kabartmalı şerit	40	0.12
Asansör	56	0.17
Mobil uygulamalar	29	0.09
Hissedilebilir yönlendirme levhaları	13	0.04
Rampa	44	0.13
Engelli yardım/bilgilendirme noktaları	19	0.06
Engellilere özel telefonlar	20	0.06
Asansör merdiven	33	0.10
Engelli hizmet aracı	38	0.12
Hepsini biliyorum	6	0.02
Bilmiyorum	2	0.01
Toplam	327	1.00

Katılımcıların birden fazla seçeneği işaretleyebildiği soruda, Tablo 6'ya göre en fazla bilinen uygulamanın 56 (%0.17) kişi ile asansör olduğu görülmektedir. İkinci bilinen uygulamanın ise 44 (%0.13) kişi ile rampa olduğu saptanmıştır. Verilen cevaplara bakılacak olursa Balıkesir ilinde bulunan benzer uygulamaların ülke genelindeki uygulamalardan daha az bilindiğini söylemek mümkündür. Bu durumda yapılan hizmetlerin azlığı, görünürlük faaliyetlerinin yeteri kadar yapılmadığı gibi sonuçları vermektedir.



Şekil 4: Katılımcıların ulaşım tercihleri

Katılımcılara ulaşım tercihlerini ölçmek için yöneltilen soruya verilen cevaplar Şekil 4'te gösterilmiştir. Elde edilen verilerden %61 ile çoğunluğun toplu ulaşım araçlarını tercih ettikleri saptanmıştır. Toplu ulaşım araçlarını tercih edenlerin ne sıklıkla kullandıklarını tespit etmek için yöneltilen soruya verilen cevaplara Tablo 7'de yer verilmiştir.

Tablo 7. Ülke genelinde bulunan engelli uygulamalarından haberdarlık

	n	%
Ayda 1 kere	13	0.12
Günde 1 kere	4	0.04
Günde 2 kere	20	0.18
Günde 3 ve üstü	24	0.22
Haftada 1 kere	8	0.07
Haftada 2 kere	9	0.08
Haftada 3 ve üstü	10	0.09
Hiç kullanmıyorum	21	0.19
Total	109	1.00

Katılımcıların ağırlıklı olarak günde 3 ve üstü toplu ulaşım araçlarını kullandıkları saptanmıştır. Bireysel ulaşımı tercih eden 42 kişiden 21 kişinin toplu ulaşımı hiç kullanmadığı kalan 21 kişinin ise ihtiyaç halinde kullandığını söylemek mümkündür.

Tablo 8. Engelli yolcuların toplu ulaşım kullanım zamanları

	n	%
Hafta içi	24	0.23
Her gün	17	0.16
İhtiyaç duyduğum günlerde	64	0.61
Total	105	1

Toplu ulaşımı kullanan kişilerin en çok hangi günlerde kullandıklarını tespit etmek için yöneltilen soruya verilen cevaplar Tablo 8'de gösterilmiştir. Çoğunluğunun ihtiyaç duyduğu günlerde toplu taşıma araçlarını kullandıkları saptanmıştır. Hafta içi kullananlar ile çalışanlar arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

Tablo 9. Engelli yolcuların yolculuklarını gerçekleştirme nedeni

	n	%
Sağlık hizmetleri	29	0.27
Alışveriş	3	0.03
İş	40	0.37
Eğitim	11	0.10
Sosyal faaliyet	22	0.20
Diğer	4	0.04
Toplam	109	1.00

Toplu ulaşımı kullananların en çok işe gidip gelirken kullandıkları tespit edilmiştir. İş için kullananlar ile sağlık hizmetleri için kullananların sayısının birbirine yakın oldukları gözlemlenmiştir. Alışveriş amacıyla toplu ulaşım araçlarını kullananların 3 (%0.003) ile en az olduğu görülmektedir. Çalışmaya katılan 8 öğrencinin tamamının eğitim için toplu ulaşım araçlarını tercih ettiği kabul edilirse bunların haricindeki 3 kişinin de eğitim için toplu ulaşım araçlarını seçtiklerini söylemek mümkündür.

Tablo 10. Toplu ulaşım hizmetinden memnuniyet durumu

		Hiç memnun değilim	Memnun değilim	Kararsızım	Memnunum	Çok memnunum	Aritmetik ortalama	Standart sapma
Belediye tarafından sağlanan toplu ulaşım hizmetinden memnunum.	n	21	15	21	33	19	3.13	1.38
	%	19.3	13.8	19.3	30.3	17.4		
Toplu ulaşım araçlarını bekleme süresinden memnunum.	n	22	28	25	19	15	2.79	1.33
	%	20.2	25.7	22.9	17.4	13.8		
Şoförlerin engelli yolculara karşı tutumundan memnunum.	n	13	10	31	37	18	3.34	1.21
	%	11.9	9.2	28.4	33.9	16.5		
Şoförlerin engelli yolculara karşı sorumluluklarını yerine getirmesinden memnunum.	n	12	14	32	31	20	3.3	1.23
	%	11.0	12.8	29.4	28.4	18.3		
Şoförlerin trafik kurallarına uymasından memnunum.	n	13	16	30	33	17	3.23	1.23
	%	11.9	14.7	27.5	30.3	15.6		
Duraklarda toplu ulaşım hizmetleriyle ilgili sunulan bilgilendirme hizmetlerinden memnunum (sefer saatleri, yönlendirme tabelaları, güzergâh haritaları vb.)	n	14	19	23	37	16	3.2	1.26
	%	12.8	17.4	21.1	33.9	14.7		

Tablo 10 devamı

Durakların yeterli aydınlatmasından memnunum.	n	8	12	25	48	16	3.48	1.1
	%	7.3	11.0	22.9	44.0	14.7		
Durakların konumundan memnunum.	n	9	14	29	41	16	3.38	1.14
	%	8.3	12.8	26.6	37.6	14.7		
Durakların teknoloji seviyesinden (Wi-fi, klima, kamera) memnunum.	n	17	19	31	30	12	3.01	1.24
	%	15.6	17.4	28.4	27.5	11.0		
Durakların erişilebilir olmasından memnunum.	n	14	13	25	41	16	3.29	1.23
	%	12.8	11.9	22.9	37.6	14.7		
Durakların engelli yolcuların da göz önüne alınarak tasarlanmasından memnunum.	n	20	23	29	25	12	2.87	1.27
	%	18.3	21.1	26.6	22.9	11.0		
Otobüslerin engelliler açısından donanımından memnunum.	n	16	17	24	37	15	3.17	1.27
	%	14.7	15.6	22.0	33.9	13.8		
Otobüslerdeki engelli koltuğunun yapısından memnunum.	n	14	13	30	36	16	3.25	1.23
	%	12.8	11.9	27.5	33.0	14.7		

Toplu ulaşım hizmetinden memnuniyetlerinin tespit edilmesi için yöneltilen sorulara verilen cevaplar Tablo 10'da gösterilmiştir. Verilen cevaplardan katılımcıların genel olarak toplu taşıma hizmetinden memnun oldukları saptanmıştır. Sağlanan hizmet ile ilgili daha özel sorular sorulduğunda ise memnuniyet durumlarının değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Toplu ulaşım araçlarını bekleme süresinden memnun olup olmadıkları sorulduğunda çok memnun olanların en az, memnun olmayanların ise en fazla oldukları görülmüştür. Verilere göre memnun olmayanlar ile kararsız olanların sayısının birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Şoförlerin engelli yolculara karşı tutum ve davranışlarından genel olarak memnun olduğu yine tespit edilen sonuçlardan biridir. Kararsız olanlar ile memnun olmayanların sayısının da azımsanmayacak düzeyde olduğu diğer bulgular arasındadır. Sürücülerin engelli yolculara karşı sorumluluklarını yerine getirmesinden memnun olup olmadıkları sorulduğunda ise kararsız olanların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Şoförlerin trafik kurallarına uyma konusunda genel bir memnuniyet söz konusuken kararsız olanların sayısının da fazla olduğu saptanmıştır. Bu bölümde katılımcılara durakların kullanım memnuniyetlerini ölçmek için de birtakım sorular yöneltilmiştir. Genel olarak duraklarda sunulan bilgilendirme hizmetlerinden, aydınlatmasından, teknolojik donanımından, erişiminden ve konumundan memnun olduğu sonucuna varılmıştır. Fakat durakların engellilerin kullanımına yönelik tasarlanması konusunda kararsızlık söz konusu olduğu gözlemlenmiştir. Otobüslerin engelliler açısından donanımının ve otobüslerdeki engelli koltuğunun yapısının genel olarak yeterli görüldüğü diğer bulgular arasındadır.

Tablo 11. Engelli uygulamalarından memnuniyet durumu

		Hiç memnun değilim	Memnun değilim	Kararsızım	Memnunum	Çok memnunum	Aritmetik ortalama	Standart sapma
Otobüs durakları engelli yolcular için konforludur.	n	21	28	26	20	14	2.8	1.3
	%	19.3	25.7	23.9	18.3	12.8		
Otobüse kolaylıkla binebiliyorum.	n	11	19	10	42	27	3.5	1.31
	%	10.1	17.4	9.2	38.5	24.8		
Otobüsten kolaylıkla inebiliyorum.	n	10	20	9	42	28	3.53	1.31
	%	9.2	18.3	8.3	38.5	25.7		
Otobüs içinde kolaylıkla hareket edebiliyorum.	n	14	19	19	36	21	3.28	1.31
	%	12.8	17.4	17.4	33.0	19.3		
Otobüste kartımı kolaylıkla okutabiliyorum.	n	9	11	13	47	29	3.7	1.21
	%	8.3	10.1	11.9	43.1	26.6		
Otobüslerin klima sistemleri düzenli çalışmaktadır.	n	19	8	28	35	19	3.25	1.32
	%	17.4	7.3	25.7	32.1	17.4		
Otobüslerin içinde hijyen kurallarına uyulmaktadır.	n	14	19	34	25	17	3.11	1.24
	%	12.8	17.4	31.2	22.9	15.6		
Otobüsler sefer saatlerine uymaktadır.	n	9	17	23	43	17	3.39	1.17
	%	8.3	15.6	21.1	39.4	15.6		
Otobüslerin sefer sayıları uygundur.	n	20	29	19	26	15	2.88	1.33
	%	18.3	26.6	17.4	23.9	13.8		
Yolların yapısı engelliler için uygundur.	n	28	30	18	23	10	2.61	1.32
	%	25.7	27.5	16.5	21.1	9.2		
Kaldırımların yapısı engelliler için uygundur.	n	32	30	21	17	9	2.46	1.28
	%	29.4	27.5	19.3	15.6	8.3		
Rampaların tasarımı engelliler için uygundur.	n	22	28	26	23	10	2.73	1.25
	%	20.2	25.7	23.9	21.1	9.2		
Rampaların konumu engelliler için uygundur.	n	22	28	23	23	13	2.79	1.31
	%	20.2	25.7	21.1	21.1	11.9		
İlimizde yaya geçitleri engelliler için uygundur.	n	24	30	19	25	11	2.72	1.31
	%	22.0	27.5	17.4	22.9	10.1		

Tablo 11 devamı

İlimizde bulunan engelli alanları (otopark, yaya yolu vb.) yeterlidir.	n	35	28	25	13	8	2.37	1.25
	%	32.1	25.7	22.9	11.9	7.3		
İlimizde bulunan engelli ekipmanları (rampa, asansör vb.) yeterlidir.	n	31	34	26	9	9	2.37	1.21
	%	28.4	31.2	23.9	8.3	8.3		
İlimizde engelliler için verilen teknolojik destek yeterlidir.	n	27	32	28	14	8	2.49	1.21
	%	24.8	29.4	25.7	12.8	7.3		

Diğer bir alanda ise katılımcılara yine toplu ulaşım araçlarından ve ilde engellilerin kullanımı için bulunan diğer uygulamalardan memnuniyet durumlarını ölçecek sorunlar yöneltilmiş ve elde edilen sonuçlara Tablo 11'de yer verilmiştir. Otobüslerin engelli yolcular için konforlu olmadığını düşünenlerin sayısı 28 (%25.7) kişidir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun otobüse inip binme konusunda güçlük çekmediği tespit edilmiştir. Yine otobüs içerisinde kolaylıkla hareket edenlerin sayısının fazla olduğu saptanmıştır. Bu durumda otobüslerin doluluk oranının yeterli seviyede olduğunu göstermektedir. Katılımcıların %43'ünün toplu taşıma kartını rahatlıkla okuttuğu görülmektedir. Bu durum kartı okutma esnasında rencide edici bir durum ya da herhangi bir problemle karşılaşmadıklarını göstermektedir. Katılımcıların %32.1'inin otobüsün klima sistemlerinin düzenli olarak çalıştığını düşünürken kararsız olanların %25.7 ile azımsanmayacak bir oranda olduğunu söylemek mümkündür. Otobüslerin içerisinde hijyen kurallarına uyulup uyulmadığı konusunda kararsız olanların sayıca fazla olması dikkat çekmektedir. Katılımcılardan 43 (%39.4) kişinin otobüslerin sefer saatlerine uyduğunu düşünürken bu görüşe katılmayanların ve tamamen katılanların sayısının eşit düzeyde olduğu saptanmıştır. %26.6'lık kesimin otobüslerin sefer sayılarını yeterli görmedikleri önemli bulgular arasındadır. Katılımcıların büyük çoğunluğu tarafından Balıkesir ilinde bulunan yolların engellilerin kullanımına uygun bulunmadığı saptanmıştır. Bu kapsamda katılmayanların 30(%27.5), hiç katılmayanların ise 28(%25.7) kişiden oluştuğu elde edilen önemli verilerden biridir. Yapılan görüşmeler sonucunda katılımcıların Balıkesir ilinde bulunan kaldırımların yapısının da kendilerinin kullanımı için uygun olmadığını söylemektedir. Aynı şekilde rampaların tasarımı ve konumu hakkında da genel bir memnuniyetsizlik söz konusudur. Katılımcıların %27.5'i tarafından ilde bulunan yaya geçitlerinin engellilerin kullanımına uygun olmadığı, %32.1'inin ilimizde bulunan engelli alanları yeterlidir görüşüne hiç katılmadığı ve %29.4'ünün il bazında engellilere verilen teknolojik desteği yeterli görmedikleri saptanmıştır.

3. Sonuç

Günümüzde özellikle son yıllarda meydana gelen kontrolsüz kentleşme ve araç sayısındaki artış miktarı trafik yoğunluğuna neden olmaktadır. Yaşanan bu durumun neticesinde yoğun nüfusasahip birçok kentte şehir içi ulaşım güç hale gelmektedir. Bu durumdan kentlerde yaşayan vatandaşların ciddi anlamda sıkıntı yaşadıkları, özellikle engelli olan kent sakinlerinin bu durumdan daha fazla etkilendiği gözlemlenmektedir. Gündelik hayatın engeli olan kişiler için kolay hale getirilmesi ve sosyal hayata uyumlarının sağlanması son derece önemli bir konudur. Sosyal hayata daha fazla dâhil olabilmeleri için yapılacak iyileştirmelerin başında toplu ulaşım hizmetleri gelmektedir. Hiç kimseye ihtiyaç duymadan günlük işlerini halletmeleri ancak kentin erişilebilirliğinin artırılmasıyla mümkündür.

Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün öncülüğünde kamu kurumları ve yerel yönetimlerin engellilere yönelik faaliyet gösteren birimleri ile ortak çalışmalar yapılarak engelli farkındalığı oluşturmak için kamu spotları oluşturulmalıdır. Balıkesir ili özelinde yapılan anket çalışmasında engelli bireylerin ankete verdikleri cevapların analizleri sonucunda bireylerin; engelli türleri, engelli farkındalığı ve engelli algısı olarak bilgilendirilmeleri gerektiği görülmüştür. Bu sebeple herkesin her an engelli olabileceği düşüncesinden hareketle toplumu bilgilendirme ve bilinçlendirme çalışmalarının acilen yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışmaları yaparken farklı engel grupları için farklı kamu spotları hazırlanarak tanıtım yapılmalı buna yönelik ulaşım tercihleri, ulaşım tipleri veya sürüş tercihleri tanıtılmalıdır. Örneğin; bisiklet, scooter, elektrikli scooter gibi bireysel çözümler veya toplu ulaşımına da raylı sistem gibi çözüm ve ürünler olduğu belirtilmelidir.

Engelli bireylerin farkındalığını artırmak için orta öğretimden başlamak üzere üniversite eğitime kadar her düzeyde dersler açılarak bilincin oluşturulması gereklidir. Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans veya doktora dersleri içinde farklı derslerde engelli bireylerin ulaşımı konusu ele alınmaktadır. Bu tür dersler zorunlu olarak her kademe eğitimde ele alınmalı toplumda engelliler için bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Bu tür çalışmaların tüm üniversitelerde yaygınlaştırılması ve ilgili diğer anabilim dalları ile koordineli çalışarak Teknokent çözümlerinin artırılması ve teşvik edilmesi, kalkınma ajanslarıyla yapılan projeler, TÜBİTAK projeleri, Santezprojeleri gibi çalışmaların artırılarak bu farkındalığın oluşturulması çalışmaları yapılmalıdır. İlgili bilim dalları ve kurumlar tarafından ortak çalışmaların yürütülmesi gerekmektedir. Görme engelli bireyler için akıllı baston çalışması gibi bir uygulamada teknoloji için mühendislikbilim dalı kullanımı, ergonomisi için ilgili bilim dalı, dağıtımı için yasal düzenlemelerin yapılması konusunda başka bir bilim dalı, reçete kapsamına alınması gibi düzenlemeler için başka bir dal birlikte ele alınması gereken konulardır. Bu uygulamaların reçete kapsamına alınıp kullanacak olan bireylere ücretsiz veya çok cüzi bir ücretle dağıtımı yapılmalı ve bu bireylerin hepsinin bir merkezi sistem üzerinden yönetilmesi de ayrıca önemlidir.

Engelli olan bireylerin tüm ulaşım modlarını içerecek haritalar, engel türüne göre kullanılacak yardımcı araçlar, bireylere yönelik destekler ve mobil uygulamaların resmi olarak hazırlanması ve e-devlet tanımlarının yapılması bir başka deyişle kişinin engelini ve belgesini tanımladığı an kendisiyle ilgili tüm hizmetlerin kendisine kamu yararına ücretsiz sunulması açısından elzemdir.

Engelli bireylerin engel tiplerine göre özel birimlerin açılması tek çatı altındabirleştirilmesi de önemlidir. Kent içi toplu ulaşımında engelin tipine göre araç, özel hatlar ve özel sefer saatleri gibi düzenlemeler yapılarak engelli bireylerin topluma daha rahat uyum sağlamaları ve hareket etmeleri sağlanabilir.

Engelli farkındalığını ve bilincini artırmak amacıyla kısa metrajlı film yarışmaları, konserler, filmler, festivaller gibi etkinlikler düzenlenebilir. Engelli bireylerin bu tür kültürel faaliyetlere etkinliklere katılımı için yerel yönetimlerde bulunan kültür ve sanat birimi ile ulaşımından sorumlu birim ve engelliler ile ilgili birim erişilebilir ulaşımın sağlanması için ortak çalışma yapılabilir. Çünkü düzenlenen bu tür etkinliklere katılım için erişilebilir ulaşım sağlamakta

önemlidir. Fakat ulaşım tek bir disiplin olarak yeterli değildir. Ulaşımdan amaç birinin bir yerden bir yere aktarılması değildir. Burada kullanım amacı akıllı ulaşım sistemleri gibi yeni teknolojileri kullanarak erişilebilir ulaşımı sağlamak, yerel ve merkezi yönetimlerin bunu sağlaması için çaba sarf etmektir.

Engelli bireyler adına yapılacak her tür çalışma için kullanılması gereken bir veri tabanı olması gerekmektedir. Bu kapsamda Güney Marmara Kalkınma Ajansı ile Aile ve Sosyal Politikalar İl Müdürlüğü koordinesinde 2013 yılında Balıkesir İl Engelli Nüfus Veri Tabanı Araştırma Projesi'nin yapılmış olması önemlidir. Bu tür projelerin gerekli güncellemelerinin yapılması, yerel yönetimlerin önderliğinde Türkiye geneline yayılması ve bütçe verilmesi önem arz eden diğer bir konudur. Yeni başlatılacak ve yapılacak olan çalışmalara önceden yapılmış olanların yol göstermesi, bilgi paylaşımı olması ve çalışmaların multidisipliner olarak ele alınması öncelikli olmalıdır. Bilgilere ulaşım için sosyal portallar kurulmalı ve sosyal medya ortamlarından engelli bireylere mesaj aracılığıyla veya duruma göre kısa mesajlarla iletişim kolaylaştırılmalıdır. Konuyla ilgili bir birimin kurulması, aynı zamanda birimin bu veri paylaşımını uygulamaya geçirebilmesi için gerekli mevzuat ve yasal düzenlemelerin çok acil bir şekilde çıkarılması yerel ve merkezi yönetimin devreye girerek eksikleri kapatacak gerekli düzenlemelerin yapılması ve bütçe ayrılması gerekmektedir. Verilerin güvenliğinin sağlanması açısından çeşitli blok zinciri uygulamalarının yapılması, bilgi güvenliğinin sağlanması ve e-devlet portalı üzerinden ilgili veriler erişime açılmalıdır.

Bu genel önerilerin ışığında Balıkesir ili özelinde konu ele alındığında engelli bireylere daha erişilebilir bir hizmet sağlanması için çözüm önerileri sunulmuştur. Bu kapsamda;

- Yaya kaldırımları ve zemin kaplamaları standartlara uygun olacak şekilde gözden geçirilmelidir. Zemin kaplamalarının mümkün olduğunca pürüzsüz hale getirilmesi kullanım açısından rahatlık sağlayacaktır.
- Kaldırımların üzerinde rögar kapağı ve ızgara gibi yapılar var ise çıkıntı oluşturmayacak şekilde yeniden düzenlenmelidir.
- Yaya geçitlerinde bulunan trafik lambaları görme ve işitme engelliler için yeniden tasarlanmalı ve sesli uyarı sistemleri konulmalıdır. Aynı zamanda sesli uyarı sistemleri engellilerin kullanabileceği yükseklikte yapılmalıdır.
- Yaya geçitlerinin güvenli hale gelmesi için gerekli önemlerin alınması gerekmektedir. Yaya yolu çizgilerinin silinmeye dayanıklı boyalar ile boyanması, yaya yolu üzerinde bulunan çukurların düzeltilmesi, varsa eğer logar kapaklarının çıkıntı oluşturmayacak şekilde tasarlanması gibi.
- Kamuya açık alanlarda bulunan merdivenlerin genişlikleri standartlara uygun hale getirilmelidir. Zeminlerin kaymaz malzemedan yapılması ve basamakların ucuna kaymayı engelleyen şeritlerin konulması gerekmektedir. Merdivenlerin başlangıcından bitiş yerine kadar korkuluk olması gerekmektedir.
- Bilgilendirme panolarında bulunan bilgilerin anlaşılabilir bir dille yazılması, net bir şekilde okunabilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda görme engeli olan vatandaşlar için Braille Alfabesi ile oluşturulmuş bilgilendirme tabelalarının olması gerekmektedir.
- Engelli yolcuların otobüse kolaylıkla ulaşması için otobüs duraklarının olduğu kaldırımların genişlik ve yükseklik olarak uygun hale getirilmesi gerekmektedir.
- Duraklarda bulunan oturma alanları engellilere uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Oturma alanları sık sık kontrol edilerek işlevini yitirmiş olanlar tespit edilmeli ve tamiri sağlanarak kullanıma uygun hale getirilmelidir.

- Duraklara engelli yolcuların kullanımına uygun olacak şekilde tutunma alanları yapılmalıdır.
- Duraklarda bulunan bilgilendirme panolarının engellilerin kullanımına uygun olacak şekilde işlevli hale getirilmesi gerekmektedir. İşitme engeli olanlar için sesli komutların olduğu bilgilendirme panoları yerleştirilmelidir. Görme engeli olan yolcular için de Braille Alfabeti ile oluşturulmuş bilgilendirme panolarının olması gerekmektedir.
- Otobüslere binerken ve inerken kullanılan engelli rampalarının sürekli çalışır halde bulunması sağlanmalıdır.
- Toplu ulaşım araçlarının iç zemininin kaymaz malzemeden yapılmış olmasına dikkat edilmelidir.
- Otobüs içlerinde tekerlekli sandalyeye sahip yolcular için ayrılmış özel bir bölüm bulunmalıdır. Otobüste engelli yolcu bulunması halinde bu bölümü işgal eden yolcuların şoför tarafından uygun bir şekilde uyarılarak alanın kullanıma uygun hale getirilmesi sağlanmalıdır.
- Otobüs içlerinde bulunan bilgilendirme ekranlarının engellilerin kullanımına uygun ve çalışır vaziyette olması gerekmektedir.
- İşitme engeli olan yolculara daha iyi bir toplu ulaşım hizmeti sunmak için şoförlerin işaret dili bilmesi zorunlu hale getirilmelidir.
- Sadece engelli yolcuların kullanımına özel toplu ulaşım saatlerine ve güzergâh bilgilerine ulaşabilecekleri, kullanımı kolay ve anlaşılır mobil uygulama geliştirilmelidir.
- Engelli otopark alanları çoğaltılmalı, mevcutta bulunan engelli otoparklarına park eden sürücülere caydırıcı yaptırımlar uygulanmalıdır.
- Sık kullanılan güzergâhlardaki (hastane, avm gibi) otobüs hatlarının ve sefer sayılarının artırılması da önem arz eden başka bir durumdur.
- Engelli rampalarının sayısı artırılmalı mevcuttaki rampaların gözden geçirilerek ergonomik hale getirilmesi sağlanmalıdır.
- Engellilere yönelik uygulamaya konulacak hizmetlerin mutlaka engelliler tarafından ürün deneyimlemesi yaptırılmalıdır. Onların görüş ve önerilerine uygun hale getirildikten sonra kullanıma hazır hale getirilmelidir.

Kaynaklar

- [1] Prof.Dr.Niyazi KARASAR, Bilimsel Araştırma Yöntemleri Kavramlar İlkeler Teknikler. 1995.
- [2] “Engelli Sayıları”. [https://www.haberturk.com/balikesir-haberleri/66715984-balikesirde-engelsiz-sehir-calistayi-gerceklestirildibaskan-uslu-yeni-turkiye-engellilerin-\(erişim Kas. 04, 2022\)](https://www.haberturk.com/balikesir-haberleri/66715984-balikesirde-engelsiz-sehir-calistayi-gerceklestirildibaskan-uslu-yeni-turkiye-engellilerin-(erişim%20Kas.%2004,%202022).).
- [3] E. S. Y., Yazıcıoğlu, SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri. 2004.
- [4] “5378 Sayılı Engelli Kanunu”, 2005.
- [5] M. Ü. ÖZTABAK, “Engelli Bireylerin Yaşamdan Beklentilerinin İncelenmesi”, FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilim. Derg., sayı 9, ss. 355–375, Haz. 2017, doi:

10.16947/FSMIA.323388.

- [6] Erinç Tozlu Özhan, “Engelli Bireylerin Turizm Faaliyetlerine Yönelik Motivasyon ve Beklentilerinin Analizi: Muğla Örneği”, 2017.
- [7] TSE, “Şehir İçi Yollar-Özürlü ve Yaşlılar İçin Sokak, Cadde, Meydan ve Yollarda Yapısal Önlemler ve İşaretlemelerin Tasarım Kuralları”, 1999.
- [8] “Ortopedik Engelli Tanımı”. www.ozida.gov.tr (erişim Tem. 12, 2022).
- [9] Ö. T. Bülent ÖNGÖREN, Ahmet ATALAY, *Muğla Özürlü Programı*. 2007.
- [10] S. P. Simon DARCY, Bruce CAMERON, “Accessible tourism and sustainability: a discussion and case study”, ss. 515–537, 2010.
- [11] “No Title”. www.epp.eurostat.ec.europa.eu.
- [12] V. A. Gökçe GİRESUNLU, *Engellinin El Kitabı*. 2011.
- [13] H. B. B. John J. BURNETT, “Assessing the Travel-Related Behaviors of the Mobility-Disabled Consumer”, ss. 4–11, 2001.
- [14] E. M. Dimitrios BUHALİS, “Information-enabled tourism destination marketing: Addressing the accessibility market”, ss. 1–24, 2010.
- [15] Jobs WESTCOTT, *Improving information on accessible tourism for disabled people*. 2004.
- [16] L. Guerra, S, *Tourism For All: Organising Trips For Physically Disabled Customers*. .
- [17] T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, *Engelli ve Yaşlı İstatistik Bülteni*. 2022.
- [18] İ. Üniversitesi, “Logistical”, ss. 53–54, 2015.
- [19] GMKA, “Balıkesir İli Engelli Veri Tabanı”. <https://www.gmka.gov.tr/haber/balikesir-engelli-nufus-veri-tabani-arastirma-projesi-tanitildi> (erişim Eki. 07, 2022).

Evaluation of Cooperative Intelligent Transportation Systems Scenarios

Ilgın Gökaşar^{1*}, Volkan Yıldız², Oktay Turan Şıracı³, Kerem Köran⁴

¹Boğaziçi University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department,

Istanbul, Türkiye

ilgin.gokasar@boun.edu.tr

0000-0001-9896-9220, 0009-0000-6709-8768

Abstract

K-AUS scenarios aim at groundbreaking transformation in the transportation sector, enhancing traffic efficiency and safety by enabling drivers to make informed decisions. These scenarios can be classified into three main categories: alternative route information, joining assistance, and speed control. However, this classification encompasses the interaction of various technological, infrastructural, and user-focused scenarios. Policymakers must navigate this diversity by developing regulatory frameworks and promoting innovation with a focus on equity. As K-AUS scenarios gain momentum, they hold the potential to revolutionize how we approach transportation, fostering a paradigm shift towards smarter, safer, and more efficient systems. The introduction of K-AUS marks a significant shift towards an interconnected and data-driven transportation landscape. By empowering drivers with real-time information, K-AUS scenarios can mitigate traffic congestion, reduce travel times, and enhance road safety. The three main categories underscore the multifaceted nature of K-AUS applications, each addressing distinct aspects of transportation challenges. Policymakers play a crucial role in navigating this transformative landscape in creating an environment that encourages innovation while ensuring fair access and societal benefits. Establishing robust regulatory frameworks that address the dynamic nature of K-AUS scenarios is essential. By doing so, the full potential of this innovation, maximizing its positive impacts on both societal and environmental fronts can be unlocked.

Keywords: C-ITS; scenario; traffic; security; operational; management

Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri Senaryolarının Değerlendirilmesi

Özet

K-AUS senaryoları, bilinçli kararlar alabilen sürücülere olanak sağlayarak, ulaşım sektöründe bir dönüşüm sağlamayı amaçlamaktadır. Bu senaryolar, alternatif rota bilgisi, katılım yardımı ve hız kontrolü olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. Ancak, bu sınıflandırma çeşitli teknolojik, altyapısal ve kullanıcı odaklı senaryoların etkileşimini içermektedir. Politika yapıcılar, bu çeşitliliği düzenleyici çerçeveler geliştirerek ve adalet odaklı bir inovasyonu teşvik ederek yönlendirmelidir. K-AUS senaryoları ivme kazandıkça, ulaşımı ele alma biçimimizi kökten değiştirme potansiyeline sahiptir, daha akıllı, daha güvenli ve daha verimli sistemlere doğru bir paradigma değişikliği sağlamaktadır. K-AUS'un tanıtımı, birbirine bağlı ve veri odaklı bir ulaşım peyzajına doğru önemli bir kaymayı işaret ediyor. Sürücülere gerçek zamanlı bilgi sağlayarak, K-AUS senaryoları trafik sıkışıklığını azaltabilir, seyahat sürelerini kısaltabilir ve yol güvenliğini artırabilir. Üç ana kategori, K-AUS uygulamalarının çok yönlü doğasını vurgular, her biri ulaşım zorluklarının farklı yönlerine hitap eder. Politika yapıcılar, bu dönüştürücü peyzajda gezinmede kritik bir rol oynar; inovasyonu teşvik ederken, adil erişimi ve toplumsal faydaları

sağlamak adına güçlü düzenleyici çerçeveler kurmak önemlidir. Bu şekilde, K-AUS senaryolarının toplumsal ve çevresel açılardan pozitif etkileri en üst düzeye çıkarılabilir.

Anahtar kelimeler: K-AUS; senaryo; trafik; güvenlik; operasyon; yönetim

1. Introduction

In today's world, increasing global demands have led to a critical need for high-capacity transportation systems, but they have also resulted in a series of negative consequences. Chief among these is the significant time loss due to the growing traffic congestion. Traffic congestion not only increases travel delays but also contributes to an increase in fuel consumption, causing environmental damage. The rising volume of vehicles on the roads has led to a noticeable increase in exhaust gas emissions, exacerbating air quality problems. Furthermore, the increased traffic density is associated with an increase in traffic accidents. Essentially, the necessity to enhance transportation capabilities emerges at the cost of temporal inefficiencies, environmental degradation, and heightened risks on the roads, requiring a holistic approach to overcome the multifaceted challenges posed by the contemporary increase in global transportation needs.

In Turkey and worldwide, it is observed that traffic congestion intensifies on both urban and interurban roads due to the increase in the number of vehicles and mobility needs. Consequently, the escalating traffic accidents, especially those related to this phenomenon, should be thoroughly examined. According to TÜİK data, there was a 1.55% increase in total accident numbers in 2021 compared to 2019 [1].

The issue of global climate change has become a concern on the agenda of all countries and relevant institutions worldwide. In this context, research and development efforts in various sectors and fields have been initiated to find solutions to slow down or stop global climate change. The transportation sector is one of the most significant contributors to carbon dioxide emissions, which are among the causes of global climate change. While the transportation sector is responsible for nearly 30% of carbon emissions in the EU and OECD countries, this rate is around 18% in Turkey. Additionally, about 25% of energy consumption in Turkey is attributed to the transportation sector [2].

Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS), including Cooperative Smart Transportation Systems (C-ITS), encompass a group of technologies and applications used in AUS applications, allowing effective data exchange through wireless communication technologies between components and actors in the transportation system or between vehicles and infrastructure [3].

K-AUS, among the technologies used in AUS applications, facilitates interaction between vehicles and with the surrounding infrastructure and other transportation users, providing drivers with accurate information at the right time based on their location and the situations they encounter. This enhances traffic efficiency, comfort, and safety.

This study aims to categorize and distinguish scenarios within Cooperative Intelligent Transportation Systems (C-ITS), highlighting their unique applications and benefits.

2. Methodology

K-AUS scenarios can be examined in three different categories in terms of their benefits and applications: scenarios providing information from a security perspective, scenarios providing information from an operational perspective, and scenarios assisting in traffic management.

2.1 Scenarios Providing Information from a Security Perspective

Scenarios providing information from a security perspective aim to create a safer transportation environment. The K-AUS scenarios in this context increase traffic safety through real-time data sharing and threat detection mechanisms, allowing collaboration between vehicles and infrastructure. Among the scenarios providing information from a security perspective, slow or stationary vehicle alert, emergency vehicle approaching warning, and road obstacle alert can be highlighted.

2.1.1 Emergency Vehicle Approaching Warning (HLN-EVA)

The emergency vehicle approaching warning is a K-AUS service related to security. Its primary objectives are to increase the attention of road users for the rapid formation of an emergency lane and to provide information about a dangerous area or a stationary emergency vehicle. Application example could be seen in Figure 1.

Emergency vehicles may encounter some critical and dangerous situations while heading to the scene of an emergency. Examples of these include:

- Drivers not reacting quickly or making way,
- Drivers crossing the stop line at red traffic lights without waiting for clearance and making way for emergency vehicles,
- Anxious and incorrect reactions that can jeopardize traffic or emergency operations,
- Incorrect placement of the emergency lane.

This K-AUS service improves the current situation by alerting road users to the approach of an emergency vehicle through an emergency vehicle warning. This application ensures that road users quickly form an emergency lane.

Intended Gains from the Emergency Vehicle Approaching Warning:

- During the creation of emergency lanes, especially in traffic congestion, the number and severity of accidents on highways are reduced.
- The impact of emergencies is minimized by the ability to alter traffic capacity due to emergency vehicles.
- The rapid creation of emergency lanes accelerates and optimizes the placement of emergency response teams.
- Reliable, up-to-date traffic information is provided to road users [4].

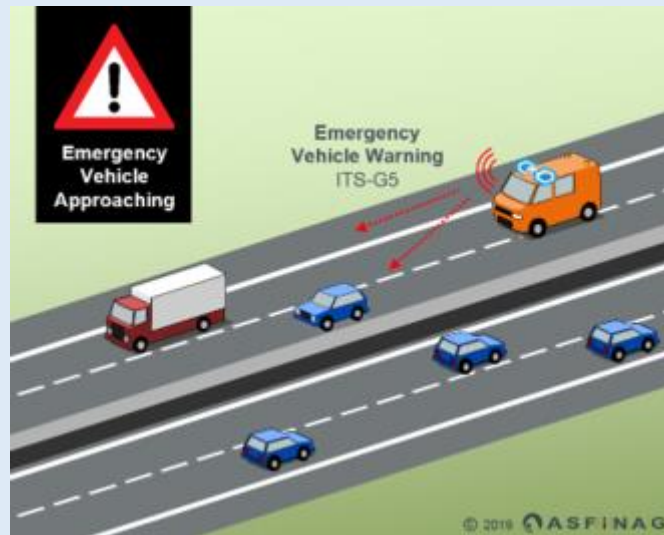


Figure 11. Emergency Vehicle Warning [5].

2.1.2 Slow or Stationary Vehicle Alert (SSVW)

The slow or stationary vehicle alert aims to inform drivers about stationary or slow-moving vehicles that pose a significant risk.

Actors participating in the slow or stationary vehicle alert include the vehicle driver receiving information about stationary vehicles on the in-car display, road operators capable of detecting the presence of a stationary vehicle and signaling, and service providers disseminating information about stationary vehicles to vehicles. Application example could be seen in Figure 2.

Intended Gains from the Slow or Stationary Vehicle Alert:

- Reduction in the number and severity of accidents in flowing traffic on highways.
- Prevention of traffic congestion and time loss [6].

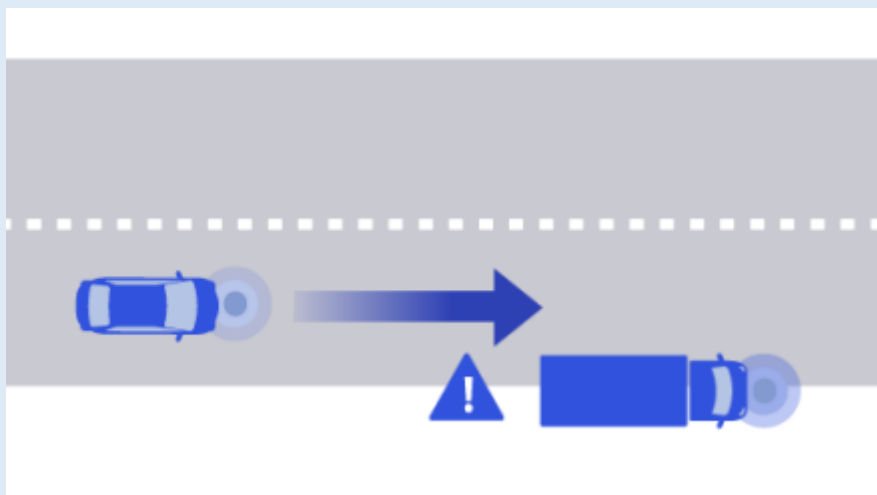


Figure 12. Slow or Stationary Vehicle [7].

2.1.3 Obstacle on the Road

Under the title of local hazard alert, the road obstacle alert aims to provide early warning to drivers about obstacles on the road and prevent potential dangers. It communicates the hazard warning to the driver in real-time through detection technologies on or around the vehicle. The detected hazard is also transmitted to other drivers through the central system. The alert may include suggestions and recommendations, such as proposing alternative routes or advising speed reduction. Application example could be seen in Figure 3.

Intended Gains from the Obstacle on the Road:

- Vehicles automatically report their status to the system when detecting an obstacle on the road, informing authorities for assistance [8].
- Drivers are notified of this situation, enhancing driving safety.
- Drivers can choose different routes based on this information.
- Navigation systems can suggest alternative routes to prevent traffic flow interruptions [9].



Figure 13. Obstacle on the Road [10].

2.2 Scenarios Providing Information from an Operational Perspective

Scenarios providing information from an operational perspective are related to enhancing the operational capabilities of intelligent transportation systems, ranging from optimizing routes to managing energy consumption and ensuring smoother traffic flow. Among the scenarios providing information from an operational perspective are in-car signaling, weather conditions, and speed control.

2.2.1 In-Vehicle Signaling

In-vehicle signaling (IVS) is a message format used to convey traffic signs to vehicles. It represents a data structure employed by various K-AUS services to communicate information to vehicles and drivers.

IVS provides drivers with information about current, fixed, and dynamic traffic signs through transmitted messages. This information can be processed by driver assistance systems present in vehicles, and the relevant data can be presented to the driver. Consequently, the driver can be informed not only about fixed traffic signs but also about current traffic regulations and recommendations. Application example could be seen in Figure 4.

The Gains Intended to be Achieved with In-Vehicle Signaling

- Driver awareness is increased.
- Drivers are provided with reliable and up-to-date traffic information.
- The number and severity of accidents on highways are reduced [11], [12].
- The negative impacts on the environment are decreased through improved predictive driving [13].



Figure 14. In-vehicle Signaling [14].

2.2.2 Weather Conditions

This K-AUS service informs the driver about hazardous weather conditions such as fog, rain, and ice. The service being dependent on in-vehicle speed limits will provide the driver with information about the appropriate speed for the prevailing weather conditions. Additionally, the system issues warnings for difficult-to-visually-detect hazardous weather conditions, such as severe winds. Application example could be seen in Figure 5.

Gains Intended to be Achieved with Weather Conditions

- The number and severity of accidents on highways are reduced depending on weather conditions.
- Reliable and up-to-date weather condition information is provided to road users [15].



Figure 15. Weather Conditions [16].

2.2.3 Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA)

The aim of the GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory) service is to provide drivers not only with the prediction of the green time of traffic lights but also with information on whether they can pass within the current green light duration. The two fundamental applications in this system are Green Wave Assistant and Deceleration Assistant.

Green Wave Assistant: This assistant displays **information** that enables reaching the green light phase at the next signal-controlled intersection, aiming to prevent unnecessary stopping and acceleration processes.

Deceleration Assistant: This assistant informs the driver about whether they can reach the green light at the next signal-controlled intersection. It aims to guide the driver by providing advanced information to prevent unnecessary braking and acceleration procedures. Application example could be seen in Figure 6.

Gains Intended to be Achieved with Green Light Optimal Speed Advisory

- The stop-and-go frequency with the vehicle is minimized, leading to fuel savings.
- The total waiting time for vehicles at red lights is minimized, preventing traffic congestion and providing time savings for passengers [17].
- With these two applications, the driver can adjust their driving behavior based on information, thereby enhancing driving comfort [18].



Figure 16. Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA) [19].

2.3 Scenarios Assisting in Traffic Management

Scenarios for managing traffic represent the portion of K-AUS applications used to regulate vehicular traffic. K-AUS significantly contributes to alleviating congestion, reducing travel times, and improving overall urban mobility by providing valuable information about traffic patterns, congestion points, and optimal routes.

2.3.1 Speed Control

As the prevalence of K-AUS applications increases, the number of vehicles equipped with On-Board Units (OBU) and Roadside Units (RSU) integrated into the infrastructure also rises. With the growing number of connected vehicles and established communication with the infrastructure, real-time speed data can be obtained from vehicles. Within the framework of the Speed Control K-AUS application, speed enforcement can be automated using speed data collected on highways. Simultaneously, warnings about exceeding the speed limit can be reflected on the OBU and Human-Machine Interfaces (HMI). Application example could be seen in Figure 7.

Gain Intended to be Achieved with Speed Control

- The costs of infrastructure-embedded sensors for speed control are eliminated.
- Speed control is provided over a broader area.

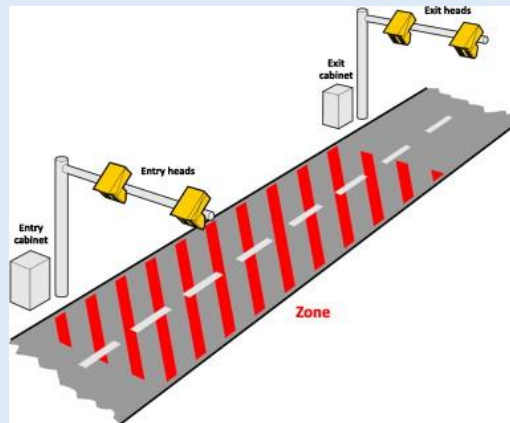


Figure 17. Speed Control [20].

2.3.2 Alternative Route Information

Due to recurring or non-recurring situations, certain sections of the road network may experience extra traffic congestion compared to other sections. In such cases, drivers moving through congested areas face increased traffic delays, leading to an overall increase in the time spent in traffic. The use of alternative routes involves choosing roads with less traffic congestion, and distributing traffic flow more optimally across the road network. In this way, alternative routes provide additional capacity to serve primary route traffic [21].

Within the scope of the Alternative Route Information K-AUS application scenario, real-time traffic information is utilized. Instantaneous traffic data is collected in specific areas of the road network, and drivers are recommended alternative routes that are suitable for their routes, minimizing the traffic delays they will experience. This way, the traffic load is optimally distributed across the entire road network, aiming to prevent traffic congestion. Application example could be seen in Figure 8.

Gains Intended to be Achieved with Alternative Route Information

- The reduction of time loss in traffic
- The prevention of traffic congestion contributes to the reduction of greenhouse gas emissions.

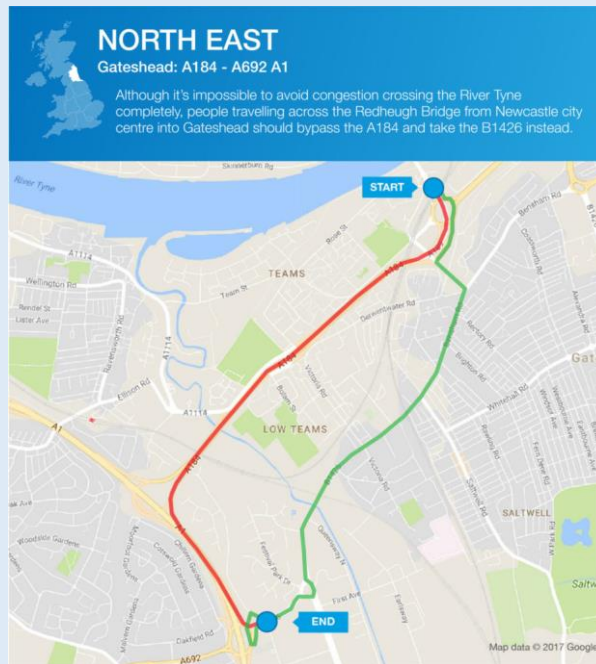


Figure 18. Alternative Route Information [22].

2.3.3 Merging Assistant

The vehicle joining assistant utilizes communication infrastructure to transmit kinematic data, defined as position, speed, and acceleration data, among vehicles. The vehicle's computer processor determines the relevant positions and movement routes of both the vehicle on the main road and the joining vehicle. Additionally, during a joining maneuver, it identifies the time when the vehicles will intersect based on their positions and predicted travel routes. With this data, the most accurate time for the joining vehicle to merge onto the main road is calculated, ensuring a smooth transition onto the main road [23].

3. Policy Implication

K-AUS integration gaining momentum, and authorities must approach implementation strategies with prudence and precision. The application of K-AUS scenarios has tremendous potential to transform transportation and enhance efficiency and safety. However, given the complex interaction of technology, infrastructure, and user behavior, careful consideration is crucial to mitigate potential challenges and ensure a seamless integration that aligns with broader societal goals. Policymakers should proceed thoughtfully in this transformative environment, balancing innovation with regulatory frameworks to address potential risks and ensure equal access for everyone, maximizing the benefits of K-AUS for all.

4. Conclusion

In conclusion, the examination of Cooperative Intelligent Transportation Systems scenarios reveals a multifaceted landscape where information exchange plays a crucial role in enhancing the overall transportation ecosystem. The classification into three main areas, namely security, operation, and traffic management, highlights the diversity of applications within K-AUS. The multifaceted nature of these applications, from enhancing road safety to optimizing

traffic flow, highlights the need for a holistic approach to harnessing the benefits of Cooperative Intelligent Transportation Systems. As we navigate this interconnected concept, policymakers play a pivotal role in shaping the trajectory of K-AUS integration. By fostering innovation, developing robust regulatory frameworks, and promoting equitable access, policymakers can guide the positive societal and environmental impacts of K-AUS scenarios to their fullest potential.

References

- [1] TÜİK Kurumsal, "Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2021," TÜİK Kurumsal. Accessed: Dec. 04, 2022. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2021-45658>
- [2] S. Göncü, "Ulaştırma Sektörünün Çevre Üzerine Etkisi," 2017, [Online]. Available: <https://etonet.org.tr/uploads/bolgesel-sektorel/117-201704/G%C3%96R%C3%9C%C5%9E/Ula%C5%9Ft%C4%B1rma%20Sekt%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCn%20%C3%87evre%20%C3%9Czerine%20Etkisi-Serdar%20G%C3%96NC%C3%9C.pdf>
- [3] C-ROADS, "An overview of harmonised C-ITS deployment in Europe," 2021. Accessed: Jan. 18, 2023. [Online]. Available: https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/C-Roads_Brochure_2021_final_2.pdf
- [4] C-ROADS Germany, "EVA - Emergency Vehicle Approaching." Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/eva/>
- [5] C-ROADS, "News - C-ITS pioneering demonstration in Austria: ." Accessed: Nov. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.c-roads.eu/platform/about/news/News/entry/show/c-its-pioneering-demonstration-in-austria.html>
- [6] Cooperative Urban Mobility Portal, "Slow or Stationary Vehicle Warning (SSVW)." Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://co-ump.eu/portal/slow-or-stationary-vehicle-warning/>
- [7] 5GAA, "C-V2X Direct Communications Multi-Vehicle Interoperability," 2018, Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: https://5gaa.org/content/uploads/2018/07/CV2X_DirectCommunicationsMultiVehicleInteroperability.pdf
- [8] Devpost, "Road Hazard Warning | Connected Vehicle Technology Challenge." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://connectedvehicle.devpost.com/submissions/2933-road-hazard-warning>
- [9] EURO NCAP Advanced, "Volkswagen Local Hazard Warning," Mar. 2020, Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://cdn.euroncap.com/media/58058/volkswagen-local-hazard-warning.pdf>
- [10] Silicon Semiconductor, "Leti Announces Project to Adapt Obstacle-Detection Technology Used in Autonomous Cars ." Accessed: Nov. 13, 2023. [Online]. Available: https://siliconsemiconductor.net/article/101070/Leti_Announces_Project_To_Adapt_Obstacle-Detection_Technology_Used_In_Autonomous_Cars

- [11] NordicWay 3, "In Vehicle Signage." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.nordicway.net/services/in-vehicle-signage>
- [12] NordicWay 3, "In-Vehicle Signage for Motorway Control Systems and VMS - PoC." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.nordicway.net/nordic-way-3/in-vehicle-signage-for-motorway-control-systems-and-vms-poc>
- [13] C-ROADS Germany, "IVS - In-Vehicle Signage Service." Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/ivs/>
- [14] Q-Free, "C-ITS & Connect Vehicle Solutions." Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.q-free.com/c-its-connected-vehicle/>
- [15] ETSC | European Transport Safety Council, "BRIEFING Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)," Nov. 2017. Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://goo.gl/MeLqpo>
- [16] My Car Does What, "Road Surface Warning System." Accessed: Apr. 16, 2023. [Online]. Available: <https://mycardoeswhat.org/safety-features/temperature-warning/>
- [17] NeoGLS, "GLOSA." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.neogls.com/en/produit/glosa-en/>
- [18] C-ROADS Germany, "GLOSA ." Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/glosa/>
- [19] MotorWeek, "Ford giving the green light to new driver assistance technology ." Accessed: Apr. 12, 2023. [Online]. Available: https://www.motorweek.org/auto_news/this_just_in/ford-giving-the-green-light-to-new-driver-assistance-technology
- [20] D. W. Soole, B. C. Watson, and J. J. Fleiter, "Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature," *Accid Anal Prev*, vol. 54, pp. 46–56, May 2013, doi: 10.1016/J.AAP.2013.01.018.
- [21] Federal Highway Administration, "Alternate Route Handbook," 2006, Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/ar_handbook/index.htm
- [22] Inchcape, "Alternative Routes to the UK's Busiest Roads." Accessed: Apr. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.inchcape.co.uk/blog/tips-and-advice/alternative-routes-to-the-uks-busiest-roads/>
- [23] R. Scarinci, A. Hegyi, and B. Heydecker, "Definition of a Merging Assistant Strategy Using Intelligent Vehicles," 2017, Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561171/1/Heydecker_TranspResearchC.pdf