



**BANDIRMA  
ONYEDİ EYLÜL  
ÜNİVERSİTESİ**



**JITSA**

**Journal of Intelligent Transportation  
Systems and Applications**

Cilt / Volume: 6

Sayı / Issue: 2

Yıl / Year: 2023



# AUSUD Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi

## ITSA Journal of Intelligent Transportation System and Applications

ISSN 2636-820X | e-ISSN 2636-820X | Cilt: 6, Sayı: 2 - 2023

**Sahibi**  
Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

**Dergi Yöneticisi Editör**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

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

**Alan Editörleri**  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ  
Prof. Dr. Serap INCAZ  
Doç. Dr. Abdullâh ELEN  
Doç. Dr. Abdullâh YESİL  
Doç. Dr. Adem DALCALI  
Doç. Dr. Harun ÖZBAY  
Doç. Dr. İlgan GÖKASAR  
Doç. Dr. İlyas ÖZER  
Doç. Dr. Necdi TEKTAŞ  
Doç. Dr. Öğüt ATIK  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet FİDAN  
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE  
Doç. Dr. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT  
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGIN  
Öğr. Gör. Ömer İNAN

**Yayın ve Danışma Kurulu**

Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Alpaslan SEREL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. A.Fevzi BABA (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Erdogan KÖSE (İstanbul Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Ergin Saat VARGİL (İstanbul Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Ferit KACAR (İstanbul Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Othman Behçet ALANKUŞ (Okaz Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Serap INCAZ (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Şeref KILIÇ (Ardeşan Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Bilgili AKINOĞLU (ODTÜ) (Türkiye)  
Prof. Dr. Mustafa ELKALLI (İstanbul Ticaret Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Sedat TERZİ (Süleyman Demirel Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Vahsel TAŞDEMİR (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Hediye TÜYDES YAMAN (ODTÜ) (Türkiye)  
Prof. Dr. Nevzat ONAT (Manisa Celal Bayar Üniversitesi) (Türkiye)  
Prof. Dr. Turan AKSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Adem DALCALI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Harun ÖZBAY (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. İlyas ÖZER (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. M. Nuri SEYMAK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Selçuk BAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Abdullâh YESİL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Eray ÖZ (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Miğdi SOYTÜRK (Marmara Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Gültekin BASMACI (Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. İlgan GÖKASAR (Boğaziçi Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Meseret NALÇAKAN (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Murat ERGÖN (İTÜ) (Türkiye)  
Doç. Dr. Necdi TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Assoc.Prof. Dr. Viktor HACKER (Graz University of Technology) (Avusturya)  
Doç. Dr. Mehmet Mulla AYDIN (Samsum 19 Mayıs Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Selahattin KOŞUNALP (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Doç. Dr. Selçuk ALP (Yıldız Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Aslan ÇOBAN (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR (Antalya Bilim Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÇİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Çankırı Onsekiz Mart Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Gülten KARA (Karadeniz Teknik Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim AKDEN (Hıran Kalyoncu Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU (Teknik Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Melis ALMULA KARADAYI (İstanbul Medipol Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARICI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Mihail Şimşek (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ARICI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Murat AY (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Murat Emr KORKMAZ (Samsum Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Mürmet İPEK (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Öğüt ATIK (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Onursal ÇETİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Sinayya KOCAREY (Sağlık Bilimleri Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Şerif DİLEK (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Taylan ENGIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Ümit AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Üstün ATAĞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Caner PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Yasın SARIKAYA (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ÇAKICI (Luzn Demokrasi Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Öğr. Üyesi Cemil ÖCAK (Luzn Demokrasi Üniversitesi) (Türkiye)  
Dr. Lee Young Kyun (Director of ITS Korea) (Kore)  
Dr. Evangelos Mitsakis (Hellenic Institute of Transport) (Yunanistan)  
Öğr. Gör. İhsan AKTAŞ (Kırıkkale Üniversitesi) (Türkiye)  
Öğr. Gör. Tufan Yılmaz KÜÇÜK (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi) (Türkiye)  
Öğr. Gör. Yusuf AVSAR (Trakya Üniversitesi) (Türkiye)  
Öğr. Gör. Ömer İNAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)  
AUS Türkiye Derneği Bşk. Esma DİLEK (Türkiye)  
Uzman Hasan TUFAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)  
Barış YILDIRIM (Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanı) (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)

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

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

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

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

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

Web: <http://dergizip.gov.tr/jtsa>

Telefon: +90 266 717 01 17

Fax: +90 266 717 00 30

E-posta: [jtsa@bandirma.edu.tr](mailto:jtsa@bandirma.edu.tr)

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

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

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

**Rizin**

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL

EBSCO

DergiPark  
AKADEMİK  
ev sahipliğinde

ideaonline

BASE  
Bielefeld Academic Search Engine

CiteFactor  
Academic Scientific Journals

RESEARCHBIB  
ACADEMIC RESOURCE INDEX

OJOP  
Journal Platform and  
Indexing Association  
<https://www.ojop.org> | Mail: [info@ojop.org](mailto:info@ojop.org)

ASOS  
indeks

**İÇİNDEKİLER / CONTENT**

<b>Lane detection for autonomous driving in a video game environment</b> .....	209-222
Video oyunu ortamında otonom sürüş için şerit tespiti	
Ahmet Onur Giray, Hatice Doğan	
Research Article	
<b>University students' perspectives on micromobility: An evaluation based on e-scooters</b> .....	223-237
Üniversite öğrencilerinin mikromobiliteye bakış açıları: E-scooterlar açısından bir değerlendirme	
Pınar Özdemir	
Research Article	
<b>Bursa ve Antalya'nın akıllı kentiçi ulaşım denemeleri</b> .....	238-252
Smart urban transportation trials of Bursa and Antalya	
Onur Uzer, Ahmet Özaslan	
Araştırma makalesi	
<b>Demiryolu araçlarında amortisör arızalarının sürüş konforu üzerindeki etkilerinin incelenmesi</b> .....	253-266
Influence of damper failures of a railway vehicle on the ride comfort	
Haluk YILMAZ, İbrahim KOCABAŞ	
Araştırma makalesi	
<b>A bibliometric analysis of publications related to dynamic vehicle routing problems</b> .....	267-283
Dinamik araç rotalama problemleriyle ilgili çalışmaların bibliyometrik analizi	
Mustafa DEMİRBİLEK	
Research Article	

- U-Net-Based detection of road and lane markings from high-resolution images.....284-299**  
Yüksek çözünürlüklü görüntülerden yol ve şerit işaretlerinin U-Net tabanlı tespiti  
Oğuzhan KATAR  
Research Article
- Evaluation of factors affecting logistics performance in a global crisis environment with DEMATEL and BWM .....300-325**  
Küresel kriz ortamında lojistik performansını etkileyen faktörlerin DEMATEL ve BWM ile değerlendirilmesi  
Furkan Dişkaya, Şenol Emir  
Research Article
- Geometric path planning for parallel parking on double side parked narrow streets.....326-343**  
Çift taraflı park edilmiş dar sokaklarda paralel park için geometrik yol planlaması  
Emrecan Hatipoğlu, Mert Kadir Assoy, Mesut Kaya, Mert Ezim, Mete Oğuz, Emir Kutluay  
Research Article
- Bibliometric analysis and trends on energy and sustainability in the field of transportation.....344-352**  
Ulaştırma alanında enerji ve sürdürülebilirlik konusunda bibliyometrik analiz ve trendler  
Irmak Hatipoğlu  
Research Article
- Ulusal akıllı ulaşım sistemleri mimarisinin yaygınlaştırılması: Türkiye önerisi.....353-392**  
Dissemination of national intelligent transportation systems architecture: Proposal for Türkiye  
Esmâ Dilek, Özgür Talih, Halim Ceylan  
Araştırma makalesi
- Otonom gemilerin STCW sözleşmesindeki mevcut düzenlemelere etkisi .....393-424**  
Impact of autonomous ships on current regulations in the STCW convention  
İbrahim Feyzioğlu, Murat Yorulmaz  
Derleme makale

**Modeling internet of things software for public transportation .....425-445**

Toplu taşıma için nesnelerin interneti yazılımlarının modellenmesi

Sadik Arslan, Geylani Kardas

Research Article

**İstanbul park et devam et sisteminin sürdürülebilir ve entegre ulaşımına etkisi .....426-465**

The impact of the Istanbul park and ride system on sustainable and integrated transportation

Asena Kübra Tarhan, Özge Yalçiner Ercoşkun

Araştırma makalesi

## Research Article

### Lane detection for autonomous driving in a video game environment

Ahmet Onur Giray<sup>1,\*</sup>, Hatice Doğan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey

<sup>2</sup> Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey

\*Correspondence: [ahmetonurgiray@gmail.com](mailto:ahmetonurgiray@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1200774

**Abstract:** To ensure comfortable and safe driving, the automotive industry has accelerated the development of autonomous vehicles in recent years. In the design of autonomous vehicles, challenging problems such as lane detection need to be solved. Convolutional neural networks, which show superior performance in many fields, have also been used in the lane detection problem. The datasets required to train CNN models are too large to be collected and labeled by manual effort. In this study, a method is proposed to automatically collect a labeled data set from the video game environment to be used in the detection of highway lanes. Different CNN models such as ResNet50, VGG16, Xception, and InceptionV3 networks are trained using the Transfer Learning method with 745,823 collected images. The images captured by the front vehicle camera are used as input, the coordinates of the points in the left and right lane and the center of the lane in the 2D plane in front of the vehicle and the angle of the vehicle are used as outputs. The performances of these models are tested and compared on the images collected from a road not used in the training set. According to the performance comparisons, ResNet50 performs best.

**Keywords:** convolutional neural networks, autonomous driving, road lane detection

### Video oyunu ortamında otonom sürüş için şerit tespiti

**Özet:** Konforlu ve güvenli sürüşü sağlamak için otomotiv sektörü son yıllarda otonom araçların gelişimini hızlandırmıştır. Otonom araçların tasarımında şerit tespiti gibi zorlu problemlerin çözülmesi gerekmektedir. Birçok alanda üstün performans gösteren evrişimli sinir ağları şerit tespit problemlerinde de kullanılmıştır. CNN modellerini eğitmek için gerekli olan veri setleri, manuel çaba ile toplanıp etiketlenemeyecek kadar büyüktür. Bu çalışmada, otoyol şeritlerinin tespitinde kullanılacak etiketli bir veri setinin video oyunu ortamından otomatik olarak toplanması için bir yöntem önerilmiştir. ResNet50, VGG16, Xception ve InceptionV3 ağları gibi farklı CNN modelleri, toplanan 745,823 görsel ile Transfer Öğrenme yöntemi kullanılarak eğitilmiştir. Araç ön kamerası tarafından yakalanan görüntüler girdi olarak kullanılmış, aracın yol merkezine olan açısı ile birlikte aracın önündeki iki boyutlu düzlemde bulunan sol, sağ ve merkez şerit koordinatları çıktı olarak kullanılmıştır. Bu modellerin performansları eğitim setinde kullanılmayan bir otoyoldan toplanan görüntüler üzerinde test edilerek karşılaştırılmıştır. Performans karşılaştırmalarına göre en iyi performansı ResNet50 modeli vermektedir.

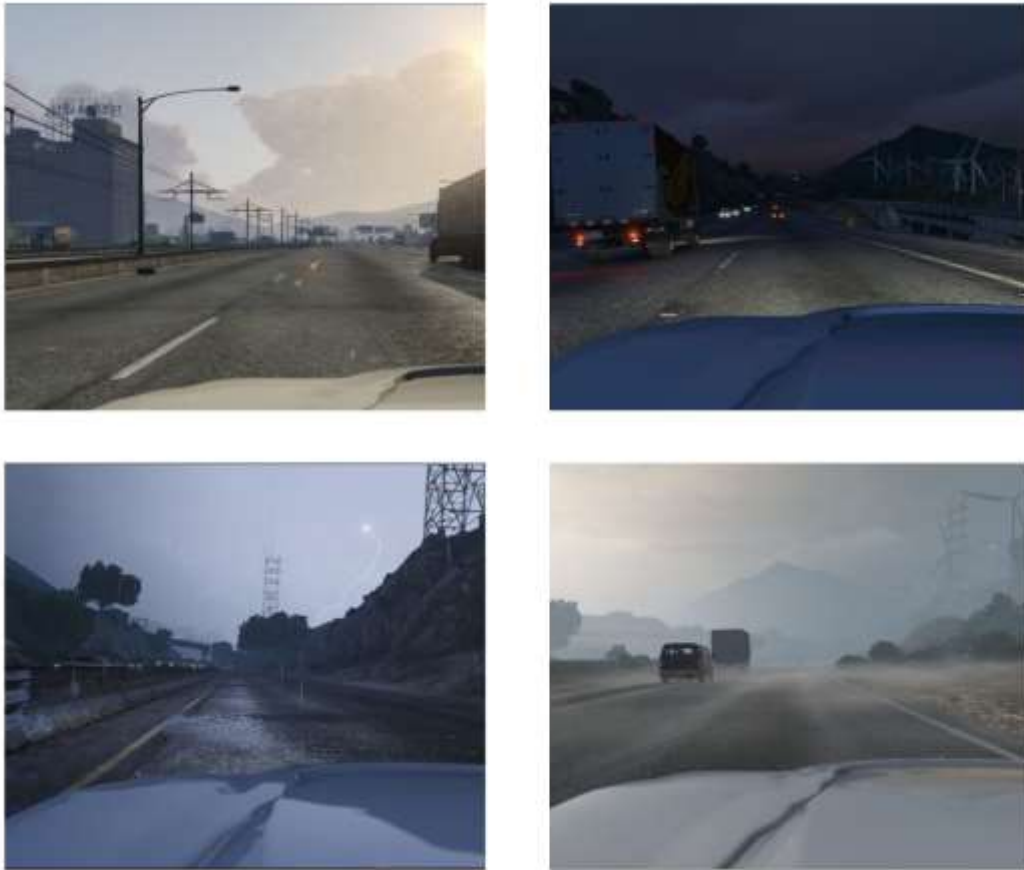
**Anahtar Kelimeler:** evrişimli sinir ağları, otonom sürüş, yol şerit tespiti

## 1. Introduction

According to the World Health Organization (2018), 1.35 million people die in traffic accidents annually, and related studies show that human factors cause 97.5% of accidents (Pakgozar et al., 2011). In this regard, autonomous vehicles are expected to eliminate the human factor and significantly reduce the number of casualties. The automotive industry is continuously moving towards autonomous vehicles as more and more companies invest in the development of self-driving vehicles. Lane detection is one of the many challenges that the industry and researchers are trying to solve using various data collected by sensors such as RADAR, LIDAR, and high-resolution cameras. Developing, testing, and deploying lane detection in real-world scenarios on public roads is costly, time-consuming, and can be dangerous.

This study aims to provide a cheaper and more efficient alternative to this problem by using a popular video game called Grand Theft Auto V (2022), developed and published by Rockstar Games, which provides high-quality, realistic visuals and traffic environments. GTA V offers a wide variety of scenes with different lighting conditions, day and night cycles, weather conditions, and numerous vehicle and pedestrian models. The game's virtual city, Los Santos, is based on real-life Los Angeles with amazing detail. As a result, the scenery, road types, and traffic patterns are replicas of the real city. Examples of different driving scenarios are shown in Figure 1.

The aforementioned features of video games have led to their use by many researchers. Shafaei et al. (2016) showed that video games can be used to train and evaluate computer vision models and that trained models can be evaluated on real-world data. Using the same video game, Zou et al. (2020) evaluated the generalization performance of a model trained on video game data for remote sensing image segmentation, with promising results.



**Figure 1.** Variety of driving scenarios in the video game.

Filipowicz et al. (2017) presented an AlexNet model to learn stop signs from the dataset generated in GTA V and investigated the success of the developed model on real-world data. It was concluded that it is possible to transfer the models trained in the game to real-world applications. Using GTA V, Filipowicz (2016) demonstrated how to extract video game data, such as vehicle and pedestrian bounding boxes and vehicle distance to lane markings, for model training and the creation of tools to automate the process. Richter et al. (2016) proposed a semantic labeling tool to extract ground truth from GTA V without accessing the source code. Martinez et al. (2017) showed that it is possible to generate datasets from GTA V that include the distances of the agent's car to the lanes and other vehicles. Cai et al. (2021) used the same video game to generate a large-scale 3D human dataset with a variety of subjects, actions and scenarios for 3D human recovery. The study concluded that the game data was surprisingly useful and provided an important complement to real-world data. Novello et al. (2021) also used GTAV in an end-to-end approach, developing a model that converts inputs from a hood camera image and a set of speed values into three driving commands, such as steering angle, accelerator, and brake pressure. In another research, Jaladi et al. (2022) proposed an end-to-end learning and testing framework based on GTAV for autonomous highway driving. The study proposes to use the video game to train a neural network model capable of learning from human driving data. Schöning et al. (2023) used the video game's sophisticated traffic environment to create a simulator for evaluating traffic-based cognitive enhancement technology. Park and Yun (2021) used GTAV to virtualize self-driving algorithms for a digital twinning autonomous vehicle, and in their study they have used the video game for object recognition, collision avoidance and lane recognition. Sekkat et al. (2020) used GTAV to generate omnidirectional images for robotics and automotive applications, which is challenging to do in the real world.

This study focuses on the detection of lanes on a highway by a camera placed on the dashboard of a vehicle. The main goal is to create a framework that generates labeled visual data from the video game that can be used to train convolutional neural networks, which have been successfully used in autonomous driving tasks (Muller et al., 2005; Huval et al., 2015). For the lane detection task, classical computer vision methods can be used. The main challenge with these methods is adapting them to different environments, such as different types of road markings, damaged road surfaces, discontinuous road lines, weather and lighting conditions. Classical methods mainly consist of detecting edges or matching them to predefined templates. These methods introduce noise into the extracted lane information (Duong et al., 2014). Using CNNs for lane detection has several advantages over traditional methods. Traditional methods can be prone to error depending on the lighting, brightness, and contrast of the captured images, or when road lanes are partially visible. Deep neural networks can generate interpretable features from time-series data, which can lead to better classification results (Gallitz et al., 2019). In addition, semantic segmentation networks have been widely used in lane detection tasks, and have shown significant improvements in network performance. Although the effectiveness of these networks is not yet high enough to be practically used in real life, they are one of the key methods that will soon be practically used (Shi and Zhao, 2021). Fast and accurate lane detection is critical when using such algorithms in real-world applications. An example of such a network is Z-Net, which is specifically designed for lane detection (Zhang, 2020). Other studies using deep learning for lane detection tasks include LaneNet, end-to-end lane detection using differentiable least squares fitting, and robust lane detection from continuous driving scenes using deep neural networks (Neven et al., 2018; Van Gansbeke et al., 2019; Zou et al., 2019).

Training CNNs requires a large amount of labeled data. The datasets generated by the methods described in this study do not require a manual labeling process, allowing the collection of approximately eight thousand image-label pairs during an hour of driving. Data is generated using third-party tools that leverage source code functionality. Lane labeling is done directly using game engine data and functions, so the data is collected exactly as the game generates it. This increases the accuracy of the dataset.

Using the methods described in this study, a dataset of 745,823 frames was collected over approximately 90 hours of driving. From each frame, the angle of the vehicle, the coordinates of the center point of the lane, and the coordinates of the left and right lane boundaries are extracted.

Driving is also automated using third-party tools, and manual input is only required if the vehicle is to be driven to a predefined point in the world. Otherwise, the vehicle will follow the defined parkour



without the need for any manual input. The collected data is used to train InceptionV3, Xception, VGG16, and ResNet50 models (Szegedy et al, 2016; Chollet, 2017; Simonyan and Zisserman, 2014; He et al, 2016).

This study demonstrates the potential of using a realistic simulation environment for large-scale data collection and training of AI models using transfer learning methods. The dataset generation methods presented do not require manual labeling and are highly accurate. These methods can be used to generate more complex and larger datasets to increase the success rate of AI models under different conditions. The proposed methods can be reused with minimal effort for AI models developed for tasks other than lane detection.

The rest of this paper is organized as follows: In Section 2, the main tools used to extract game data and the CNN models used are presented. The performance comparison of the models is shown in Section 3, the shortcomings of the proposed data extraction methods are discussed in Section 4, and the conclusions are given in Section 5.

## 2. Materials and methods

While collecting images from a video game is easier, manually labeling lane boundaries on each image is nearly impossible. To streamline the labeling process, the initial idea was to use more traditional and widely used methods such as Canny Edge Detection and Hough Transform (Canny, 1986; Hough, 1962). To partially automate the labeling process, a tool that can modify the parameters of these methods in real-time is used (Gale, 2018). However, visual inspection revealed that under different lighting conditions and when lanes are only partially in the scene, the parameters of these methods need to be readjusted to produce acceptable results. In most complicated traffic scenes, the lanes could not be detected by these methods.

Third-party tools such as Script Hook V and Rage Plugin Hook make it possible to extract information directly from the video game engine (Blade, 2022b; Url1, 2022). The Rage Plugin Hook connects to the game instance and acts as an interface between the game's engine and custom user code. It also provides an in-game menu to facilitate the data collection, such as teleporting the player character to a specific point in the world, changing weather and time conditions, and spawning a vehicle. This menu can also be used to hide the game's HUD (Head-Up Display) for more realistic images. Script Hook allows the use of any .NET language for the development of scripts that run in the game. It provides a huge database containing APIs (Application Programming Interface) of the game engine that have been researched and reverse-engineered by the game's fanbase (Blade, 2022a). Native APIs from the game engine can provide critical information about the location of lanes and their 3D world coordinates within the game. By converting 3D world coordinates to 2D screen coordinates, a huge dataset consisting of images and coordinates of four key points can be collected. These points are:

- The angle of the vehicle to the road
- Left lane boundary
- Right lane boundary
- Center of the lane.

### 2.1. Extracting game data

The virtual world of GTA V is filled with different types of AI-driven vehicles, including cars, buses, trucks, and motorcycles. Hundreds of such entities can surround the player's character in virtual traffic at any given time. These vehicles behave similarly to real life, they can go slower or faster and they can change lanes. They are controlled by in-game path-finding algorithms, and such functions can be used to understand how the roads are detected for the AI vehicles. The two main pieces of information used are nodes and links. Nodes are individual points scattered throughout the virtual world. They are placed in the middle of roads and connected by entities called links. The links contain information about the type of road (highway, urban, seaway, etc.) and other information such as the number of lanes on the road and the width of each lane. A game file called "paths" holds the information about nodes and links, along with their 3D world coordinates. By parsing this file, one can determine how path-finding information is distributed in the virtual world.

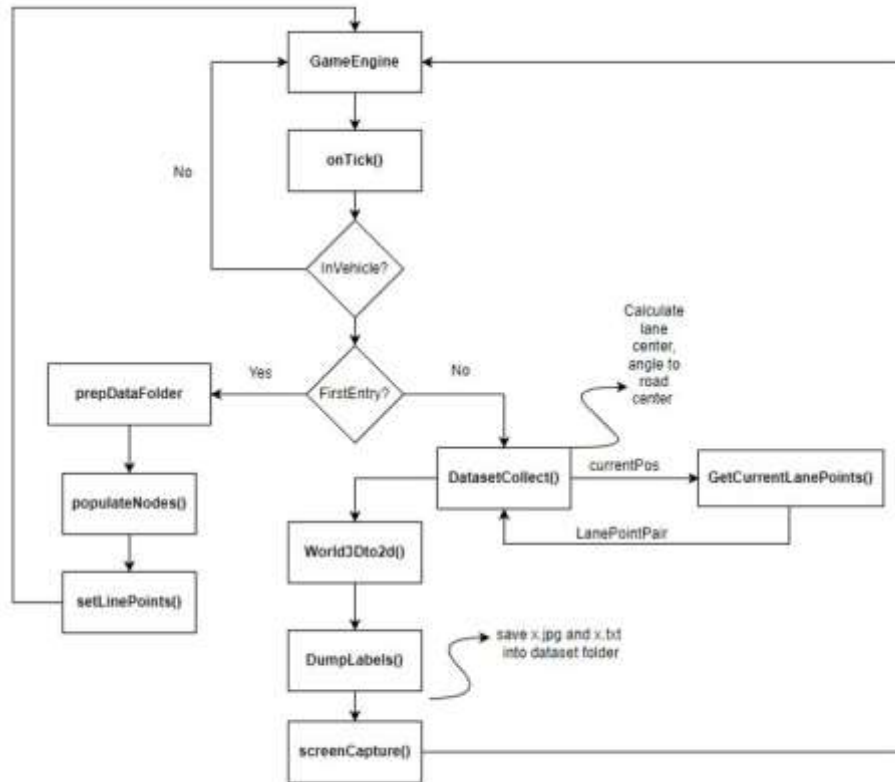
Auxiliary functions such as `GET_NTH_CLOSEST_VEHICLE_NODE_ID` can be used to determine where the player's character is in the virtual world and how close the character is to a vehicle node or vehicle link. Since nodes and links are labeled with unique IDs, it is possible to determine the properties of the road the player is currently traveling on. The exact positions of the left, right, and center lane points are determined in real time from the road type, lane width, and number of lanes. Using vector calculation APIs such as `GET_ANGLE_BETWEEN_2D_VECTORS`, even the angle of the vehicle's forward vector to the road center can be calculated. Calculated ground truths can be displayed in the virtual world for debugging and visual inspection.

By default, the video game does not provide a 'dashboard camera'. To provide this view to the player another third-party tool called Hood Camera is used (Url2, 2022). To further speed up the data collection process, another script called Self Drive Plugin is used (Url3, 2022). This script allows placing a waypoint on the game's map, and when the start button is pressed, the car drives to the waypoint at an adjustable speed. The script uses in-game functions similar to the developed dataset collection tool, and the player's vehicle behaves like any other AI-controlled vehicle in the game.

The video game is run at the highest possible graphics settings for more detailed and realistic visuals, but at 800x600 resolution to reduce the size of the dataset.

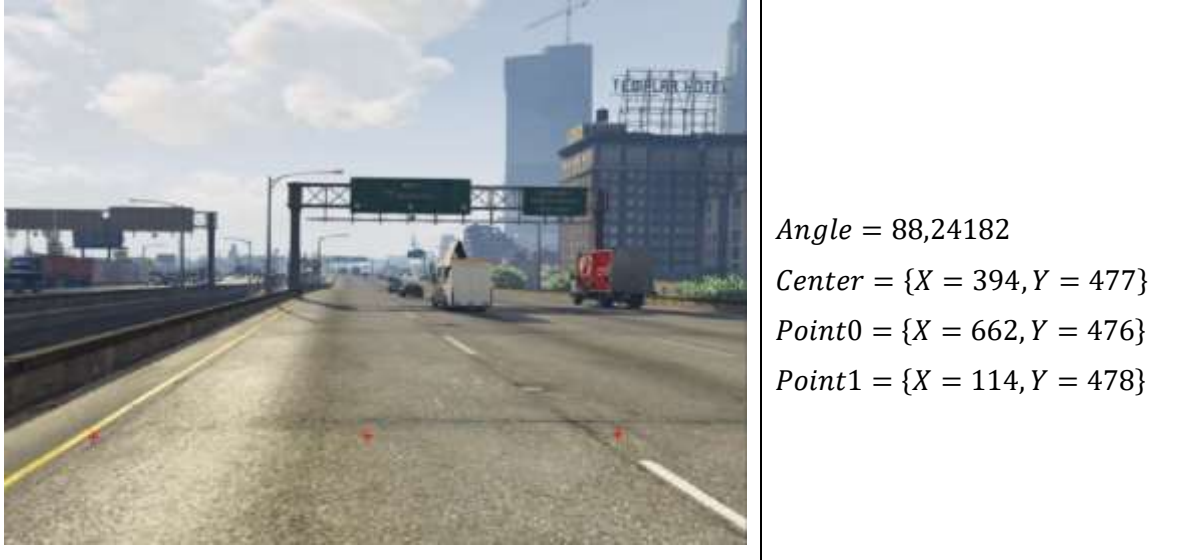
The dataset collected in this study focused on highway driving in the middle of two lanes on a predefined parkour. Using the developed and above-mentioned complementary scripts and tools, a data collection procedure is defined. After starting the game, a vehicle is spawned using the Rage Plugin Hook tool. The view is switched to the dashboard camera. Both the time and the weather are set to dynamic mode, which means that they change randomly over time. The vehicle is teleported to the starting point of the parkour on the highway. A waypoint is placed at a point on the parkour and the Self Drive Plugin is initiated, each time at a different speed, so that the captured frames are as varied as possible. The developed dataset collection script is initiated from the in-game console provided by the Script Hook V tool. Once the waypoint is reached, another is automatically placed on the parkour, and so on. A folder named 'dataset' is automatically created at the beginning of the process, containing the image files in jpg format and corresponding text files containing the labels.

The flow chart of the developed dataset collection script and an example of its output are shown in Figure 2 and Figure 3, respectively. The functions used in the flowchart are explained in the following.



**Figure 2.** Flowchart of the developed dataset collection script.

- OnTick: A periodic function that is called periodically from the game engine via Script Hook.
- prepDataFolder: Get the last filename in the dataset folder, so that an interrupted process can pick up where it left off.
- populateNodes: Parse the entire "paths" game file for nodes and links to create a database to be used for path detection.
- setLinePoints: Calculate the lane points of links using the width and number of lanes on the road.
- DataSetCollect: Get the current coordinates of the vehicle on the game world, find the closest nodes and links using the database. Also calculates the angle of the vehicle to the road.
- GetCurrentLanePoints: Get lane points for the current position of the car.
- World3Dto2D: Convert 3D world coordinates of lane points to 2D screen coordinates.
- DumpLabels: Save lane coordinates and road angle to a txt file.
- screenCapture: Take a screenshot of the game and saves it as a jpg file.



**Figure 3.** Example of image-label pair from the dataset. Point0 and Point1 represents the right and left lane boundary coordinates respectively.

## 2.2. Data analysis

Using in-game entities such as markers, as shown in Figure 4, and the game engine's subtitle or help displayer functions, an analysis of the developed scripts is performed. By manually driving the vehicle in the virtual world, visual inspections are performed for placed markers, and the angle of the vehicle to the road is displayed as a subtitle. When driving straight on the highway, it is seen that the script can generally detect 4 or 5-point pairs (left-right lane boundaries) in front of the vehicle. By increasing the range of nodes and links considered as input to the script, it is possible to determine more pairs of points that belong to lanes. However, this results in incorrect lane detection when the vehicle passes near a connector road or when the node-link density within the vehicle's range is lower. This is because the game has a larger number of nodes and links on the connecting roads to provide more paths for AI-driven vehicles. Since the developed script only considers a predetermined number of nodes and links from the nearest to the farthest, having many nodes and links clustered on the path causes confusion, and makes lane detection difficult. Therefore, it was decided to use only one pair of lane points in front of the vehicle, which is detected correctly in almost every label file.



**Figure 4.** Road lanes marked in-game.

Since GTA V is not a research tool, debugging and developing the script is a task that must be done using in-game assets such as the markers shown in Figure 4. As a result, the developed scripts have some bugs that cause some nodes-links to be missed or not detected at all, especially when the vehicle

is turning on a highway and the nearest node is not visible on the screen. Sometimes nodes are registered multiple times, which can be caused by the existence of multiple links providing the same lane position information. Depending on the position of the vehicle, the developed script may detect one lane point (left or right boundary) earlier (registered as Point0 in Figure 3) than another one. This can cause confusion during training because Point0 may be a right lane boundary in one label file and a left lane boundary in another.

To reduce the effects of inconsistencies in the training, a label post-processing tool is developed in Python. The tool removes multiple detected points and compares X-axis information within detected points and rearranges left-right lane boundaries so that Point0 output is always the left lane boundary and Point1 is the right lane boundary. If the nearest node is not visible on the screen and therefore not logged in the label file, it is removed from the dataset. Finally, post-processing converts the txt files in the dataset folder into a single csv file, including the ID (which corresponds to the file name), the angle to the road center, the left and right lane points, and the center lane point.

### 2.3. Model training

Four different models are selected for lane point detection, including ResNet50, VGG16, Xception, and InceptionV3. These models were trained on the ImageNet dataset and the Xception model showed the best Top-5 accuracy. In this study, transfer learning methods are applied to these models to provide a comparison and to select the most suitable model for the lane detection task. To fit the purpose of lane detection, some modifications are made to the models. The input layer is rescaled to 224x224x3 pixels, and a fully connected layer consisting of seven neurons is added as the output layer of the model.

The outputs are, the angle of the vehicle to the road, the coordinates of the center, the coordinates of the left lane boundary, and the coordinates of the right lane boundary. The sigmoid activation function is used at the output layer to scale the values between 0 and 1. The parameters of the last layer are updated during the training phase.

All images are rescaled from 800x600x3 to 224x224x3 and all labels are rescaled with the same ratio before normalization. The angle to the road is divided by 180 degrees for normalization. Therefore, all the output values are between 0 and 1 before training starts.

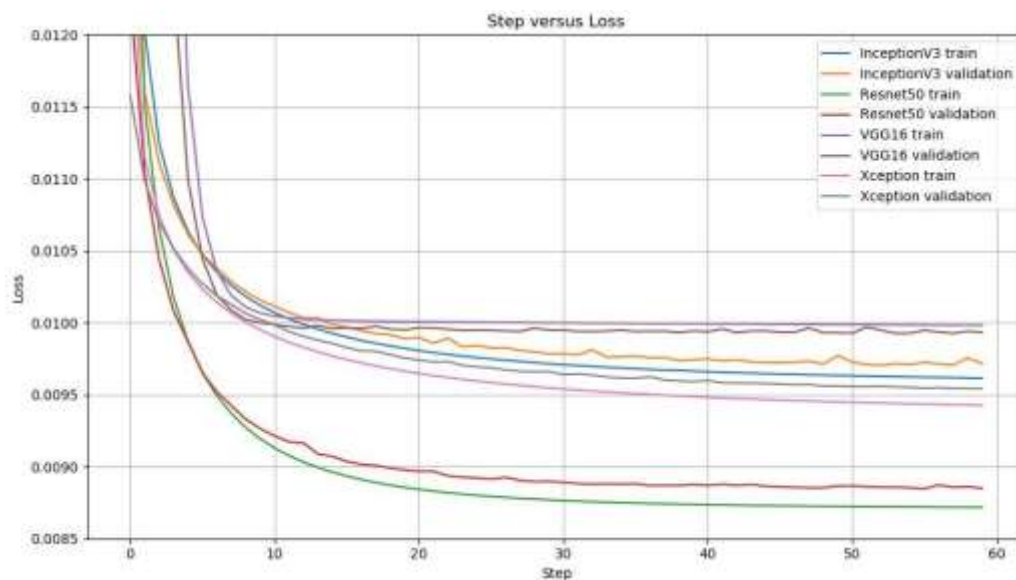
Training is performed on all models by freezing all base model layers and updating weights on the newly added, fully connected layer on top. It is done using the Adam Optimizer with a preset learning rate of 0.00001 and 60 epochs. Training is performed on the RTX 3080 graphics card in a total of 18646 batches for one epoch. Since the batch size of 32 images does not fit into the 10 GB video RAM of the graphics card, a manual input generator is implemented, which reads the data from the disk and mixes the inputs.

## 3. Results

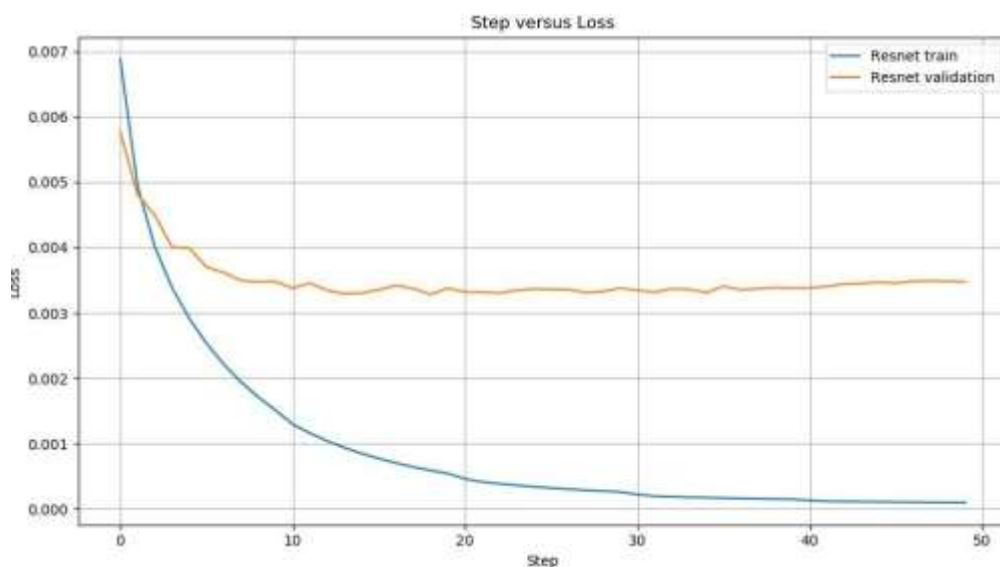
Data collected by using the mentioned tools and methods are used to train Xception, InceptionV3, VGG16, and ResNet50 models. The Mean Squared Error is used as the loss function and the results of the first training are shown in Table 1. The validation and training loss graphs are shown in Figure 5. The results showed that the best performing model in terms of low validation loss is ResNet50, so it is selected to be used after a second training for fine tuning.

**Table 1.** Results of the first trainings.

Model	Training Loss (e-3)	Validation Loss (e-3)	Training Duration
ResNet50	8.7169	8.8481	14h 24m
Xception	9.4252	9.5401	14h 8m
InceptionV3	9.6134	9.7153	12h 26m
VGG16	9.9814	9.932	13h 36m

**Figure 5.** Training and validation losses for all models.

The first 165 layers of the ResNet50 model are frozen and the remaining last block of the base model is joined in the training. Similarly, the Adam Optimizer is used, but this time the learning rate of 0.00001 is decreased in every 10 epochs by multiplying by  $(0.85)^{\text{epoch}/10}$ . The second training is performed for 50 epochs and took approximately 12.5 hours and resulted in a validation loss of  $3.4737\text{e-}3$ , which is significantly lower than the first training. Graphs of the training and validation losses of the fine-tuning training are shown in Figure 6.

**Figure 6.** Training and validation losses for ResNet50 fine-tune training.

Using the developed tools, a test dataset consisting of 754 images is collected on a completely different highway than the one used for the training and validation datasets. When the trained model is evaluated on the test dataset, the loss is calculated to be 0.01231.

To visually evaluate the output of the trained network, another tool based on Python's MSS module is created to capture live video from the game window. Sample images of the test set and detected lane points are shown in Figure 7 through Figure 9. The respective ground truth and predicted values of the seven outputs are shown in Table 2, Table 3, and Table 4.



**Figure 7.** Three points marked by the model.

**Table 2.** Predicted and actual results for Figure 7.

Parameter	Actual	Predicted
Angle to road	89.85872	91.25470
Center-X	450	466
Center-Y	376	385
Point0-X	331	332
Point0-Y	376	385
Point1-X	569	612
Point1-Y	376	385



**Figure 8.** Three points marked by the model.

**Table 3.** Predicted and actual results for Figure 8.

Parameter	Actual	Predicted
Angle to road	90.26978	88.40917
Center-X	427	490
Center-Y	355	364
Point0-X	340	409
Point0-Y	355	367
Point1-X	514	583
Point1-Y	356	362

The results show that the model can find lane points when driving straight on a highway it hasn't seen before.

**Figure 9.** Detection of lane boundaries while lanes are partially visible.**Table 4.** Predicted and actual results for Figure 9.

Parameter	Actual	Predicted
Angle to road	92.12427	92.27007
Center-X	506	434
Center-Y	449	417
Point0-X	262	247
Point0-Y	449	417
Point1-X	743	637
Point1-Y	449	418

The positive aspect of extracting data from the game is that the lane points can be marked even when a larger vehicle blocks the agent's view, as shown in Figure 9. Such cases are not a problem, because the dataset contains many similar cases where there is traffic and lanes are only partially visible or not visible at all.

Additionally, the trained ResNet50 model is tested on real-world video footage obtained from open source projects (Gautam, 2019; Udacity, 2017). Visual inspection showed similar behavior to in-game footage. The output of the model on two different videos is shown in Figure 10.





**Figure 10.** Evaluation of the trained ResNet50 model on real world images

#### 4. Discussion

The presented data collection method shows how quickly large amounts of data can be collected for various purposes using the in-game engine and some third-party tools. A drawback of the presented solution is that the developed scripts are difficult to debug while the game is running. This can be overcome by using in-game assets to visualize the information needed for debugging.

The prediction error of lane points when a vehicle is turning on a connection road is higher than when driving straight resulting in an increase in MSE. This is due to the fact that the parkour selected during the training contains only several connection roads that the vehicle needs to turn. Also, because the AI drives the vehicle in an almost perfectly straight line during data collection, the training data is largely dominated by road angles around 90 degrees, making it difficult for the model to learn different angle scenarios.

Model prediction errors can be reduced by using human players to collect data instead of AI scripts. This will increase the randomness in recorded scenes as well as scenarios where the car is not being driven perfectly.

#### 5. Conclusion

The study demonstrates the ability to collect large amounts of data and train artificial intelligence models in realistic simulation environments. Using transfer learning methods, ResNet50, VGG16, Xception and InceptionV3 models, which are typically trained on real-world data, were trained to detect lane points and road angles in a virtual world. ResNet50 was shown to outperform the comparison models for lane and road angle detection tasks on the collected dataset. The training time and computational requirements for transfer learning are significantly less than the training of a network from scratch.

The dataset generation methods presented in this study do not require manual labeling operations and are robust in accuracy since the data is extracted directly from the game engine. Using the methods presented, more complex and larger datasets can be generated to further increase the success rate of the developed model under different conditions.

#### Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

#### Acknowledgment and/or disclaimers, if any

This work has been supported by the Dokuz Eylül University Scientific Research Projects Coordination Unit grant 2021.KB.FEN.005

#### Conflict of Interest Statement, if any

There is no conflict of interest with any institution or person within the scope of the study.

## References

- Blade, A.** (2022a). *GTA V Native DB*. Retrieved October 28, 2022 from <http://www.dev-c.com/nativedb>
- Blade, A.** (2022b). *Script Hook V*. Retrieved October 28, 2022 from <https://www.dev-c.com/gtav/scripthookv>
- Cai, Z., Zhang, M., Ren, J., Wei, C., Ren, D., Lin, Z., Zhao, H., Yang, L., Loy, C. C., & Liu, Z.** (2021). Playing for 3D human recovery. *arXiv preprint arXiv:2110.07588*.
- Canny, J.** (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6), 679-698.
- Chollet, F.** (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1251-1258).
- Gautam, D.** (2019). *Video file for lane detection project*. Retrieved May, 2023 from <https://www.kaggle.com/datasets/dpamgautam/video-file-for-lane-detection-project>
- Duong, T. H., Chung, S. T., & Cho, S.** (2014). Model-based robust lane detection for driver assistance. *Journal of Korea Multimedia Society*, 17(6), 655-670.
- Filipowicz, A.** (2016). "Driving School II Video Games for Autonomous Driving," M. Eng. thesis, Princeton University, New Jersey, USA.
- Filipowicz, A., Liu, J., & Kornhauser, A.** (2017). Learning to recognize distance to stop signs using the virtual world of Grand Theft Auto 5. In *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*, 17-05456.
- Gale, J. W.** (2018). *GTA Advanced Lane Finding*. Retrieved October 28, 2022 from <https://github.com/Will-J-Gale/GTA-Advanced-Lane-Finding>
- Gallitz, O., De Candido, O., Botsch, M., & Utschick, W.** (2019, October). Interpretable feature generation using deep neural networks and its application to lane change detection. In *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)* (pp. 3405-3411). IEEE.
- GTA V.** (2022). *Grand Theft Auto V*. Retrieved October 28, 2022 from <https://www.rockstargames.com/gta-v>
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J.** (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- Hough, P. V.** (1962). U.S. Patent No. 3,069,654. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Huval, B., Wang, T., Tandon, S., Kiske, J., Song, W., Pazhayampallil, J., ..... & Ng, A. Y.** (2015). An empirical evaluation of deep learning on highway driving. *arXiv preprint arXiv:1504.01716*.
- Jaladi, S. R., Chen, Z., Malayanur, N. R., Macherla, R. M., & Li, B.** (2022, October). End-To-End Training and Testing Gamification Framework to Learn Human Highway Driving. In *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 4296-4301).
- Martinez, M., Sitawarin, C., Finch, K., Meincke, L., Yablonski, A., & Kornhauser, A.** (2017). Beyond grand theft auto V for training, testing and enhancing deep learning in self driving cars. *arXiv preprint arXiv:1712.01397*.
- Muller, U., Ben, J., Cosatto, E., Flepp, B., & Cun, Y.** (2005). Off-road obstacle avoidance through end-to-end learning. *Advances in neural information processing systems*, 18.
- Neven, D., De Brabandere, B., Georgoulis, S., Proesmans, M., & Van Gool, L.** (2018, June). Towards end-to-end lane detection: an instance segmentation approach. In *2018 IEEE intelligent vehicles symposium (IV)* (pp. 286-291). IEEE.
- Novello, G. A. M., Yamamoto, H. Y., & Cabral, E. L. L.** (2021). An end-to-end approach to autonomous vehicle control using deep learning. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 13(3), 32-41.

- Pakgohar, A., Tabrizi, R. S., Khalili, M., & Esmaceli, A.** (2011). The role of human factor in incidence and severity of road crashes based on the CART and LR regression: a data mining approach. *Procedia Computer Science*, 3, 764-769.
- Richter, S. R., Vineet, V., Roth, S., & Koltun, V.** (2016, October). Playing for data: Ground truth from computer games. In *European conference on computer vision* (pp. 102-118). Springer, Cham.
- Schöning, J., Kettler, J., Jäger, M. I., & Gunia, A.** (2023). Grand Theft Auto-based cycling simulator for cognitive enhancement technologies in dangerous traffic situations. *Sensors*, 23(7), 3672.
- Sekkat, A. R., Dupuis, Y., Vasseur, P., & Honeine, P.** (2020, May). The omniscene dataset. In *2020 IEEE International conference on robotics and automation (ICRA)* (pp. 1603-1608).
- Shafaei, A., Little, J. J., & Schmidt, M.** (2016). Play and learn: Using video games to train computer vision models. *arXiv preprint arXiv:1608.01745*.
- Shi, J., & Zhao, L.** (2021). A Review of Lane Detection Based on Semantic Segmentation. *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, 6(3), 1-8.
- Simonyan, K., & Zisserman, A.** (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z.** (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 2818-2826).
- Udacity** (2017). *Finding lane lines on the road*. Retrieved May, 2023 from <https://github.com/udacity/CarND-LaneLines-P1>
- Url-1** <<https://ragepluginhook.net>>, date retrieved 28.10.2022.
- Url-2** <<https://tr.gta5-mods.com/scripts/hood-camera>>, date retrieved 28.10.2022.
- Url-3** <<https://tr.gta5-mods.com/scripts/self-drive-plugin>>, date retrieved 28.10.2022.
- Van Gansbeke, W., De Brabandere, B., Neven, D., Proesmans, M., & Van Gool, L.** (2019). End-to-end lane detection through differentiable least-squares fitting. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops*.
- World Health Organization (WHO).** (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*. Accessed: 28.10.2022. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- Yun, H., & Park, D.** (2021). Virtualization of self-driving algorithms by interoperating embedded controllers on a game engine for a digital twinning autonomous vehicle. *Electronics*, 10(17), 2102.
- Zhang, Z.** (2020, November). Z-Net: A Novel Way of Lane Detection. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1682, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Zou, Q., Jiang, H., Dai, Q., Yue, Y., Chen, L., & Wang, Q.** (2019). Robust lane detection from continuous driving scenes using deep neural networks. *IEEE transactions on vehicular technology*, 69(1), 41-54.
- Zou, Z., Shi, T., Li, W., Zhang, Z., & Shi, Z.** (2020). Do game data generalize well for remote sensing image segmentation?. *Remote Sensing*, 12(2), 275.

## Research Article

**University students' perspectives on micromobility: An evaluation based on e-scooters**Pınar Özdemir<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Maritime Higher Vocational School, Piri Reis University, Istanbul, Turkey\*Correspondence: [pozdemir@pirireis.edu.tr](mailto:pozdemir@pirireis.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1257000

**Abstract:** While people's expectations and needs affect their behavior and preferences, technological developments increase the options they can choose from. One of these areas has been the field of transportation, which has been offering environmentally friendly options such as e-scooters and e-bikes in recent years. These new transportation options, called micromobility, are becoming increasingly popular, especially among young people. In this study, the opinions of university students about micromobility, with an emphasis on e-scooters, were investigated. Using a structured interview method, 10 female and 10 male students studying at a maritime university were asked about their opinions on the use of these vehicles. The results show that students are reluctant to use them mainly because they find the roads unsafe and the rules and regulations inefficient. From the gender point of view, it is revealed that the majority of female students don't prefer them, especially on quiet roads, because of the harassment they might face. Further research on this topic can be carried out with the participation of more students using different methods

**Keywords:** Micromobility, E-scooters, University Students, Innovation, Transportation, Safety

**Üniversite öğrencilerinin mikromobiliteye bakış açıları: E-scooterlar açısından bir değerlendirme**


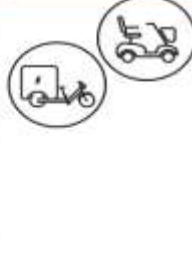


**Özet:** İnsanların beklenti ve ihtiyaçları davranış ve tercihlerini etkilerken, teknolojik gelişmeler de tercihte bulunabilecekleri seçenekleri arttırmaktadır. Son yıllarda e-scooter ve e-bisiklet gibi seçenekler sunan ulaşım alanı da teknolojik gelişmelerin olumlu yasımlarının gözlemlendiği alanlardan biridir. Mikromobilité olarak adlandırılan bu yeni ulaşım seçenekleri özellikle gençler arasında giderek daha popüler hale gelmektedir. Bu çalışmada, üniversite öğrencilerinin e-scooter başta olmak üzere mikromobilité hakkındaki görüşleri araştırılmıştır. Yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılarak, bir denizcilik üniversitesinde okuyan 15 kadın ve 15 erkek öğrenciye bu araçların kullanımına ilişkin görüşleri sorulmuştur. Sonuçlar, öğrencilerin yolları güvensiz, kural ve düzenlemeleri yetersiz buldukları için bu araçları kullanma konusunda isteksiz olduklarını göstermektedir. Cinsiyet açısından bakıldığında, kız öğrencilerin çoğunluğunun, özellikle تنها yollarda, karşılaşılabilecekleri tacizler nedeniyle bu araçları tercih etmedikleri ortaya çıkmıştır. Çalışma kampüs içi ulaşım için e-scooter ve benzeri araçlara gerek duyulmayan küçük alanlı bir üniversitede gerçekleştirildiğinden öğrencilerin sadece kampüs dışı mikromobilité ve e-scooter kullanımı konusundaki fikirlerine ulaşılabilmiştir. Daha büyük alanlı bir üniversitede söz konusu araçların kampüs içi kullanımı konusunda da fikir elde edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikromobilité, E-scooter, Üniversite Öğrencileri, İnovasyon, Ulaşım, Güvenlik

## 1. Introduction

The rapid advancement of technology brings innovations that were once unimaginable to every aspect of our daily lives. The changes triggered by these innovations are studied in depth from different perspectives and form the basis for different arguments. One of the areas where technology has caused major changes to make human life easier is transportation. Advances in technology have positively affected transportation vehicles in terms of speed, comfort, accessibility, cost, and sustainability, offering people different alternatives that they can choose from depending on their needs. Among these, micromobility vehicles, which young people have recently started to prefer more and more in urban transportation, stand out. The Safe Mobility Report by the OECD defines micromobility as "the use of vehicles with a mass of less than 350 kilograms and a design speed of 45 kilometers per hour or less" (ITF, OECD; 2020). According to the dictionary, "micromobility" refers to transportation over short distances using lightweight vehicles such as bicycles and scooters, usually for a single person (Merriam-Webster, 2023).

Both the types and the quantity of small vehicles that fall under the definition of "micromobility" are increasing day by day. These vehicles are either self-owned by individuals or rented from various companies. The increase in the number of companies where people rent e-scooters and e-bikes is an indication of the increase in demand for these vehicles (Shaheen et al., 2010; Fishman et al., 2013), which constitute one of the four types of micromobility vehicles. In the ITF report, the four types of micro-vehicles are defined according to their mass and speed as Types A, B, C, and D. Type A includes vehicles such as bicycles, e-bikes, and e-scooters that weigh no more than 35 kilograms and have a speed of no more than 25 kilometers per hour. (ITF, OECD, 2020). Figure 1 shows the classification of these vehicles.

Type A	Type B	Type C	Type D
unpowered or powered up to 25 km/h (16 mph)		powered with top speed between 25-45 km/h (16-28 mph)	
<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)	<35 kg (77 lb)	35 – 350 kg (77 – 770 lb)
			
			
			

**Figure 1.** Proposed micromobility definition and classification (ITF, OECD, 2020)

Type A micromobility vehicles are the most widely used means of transportation for short distances. People had been using different forms of bicycles long before scooters were invented towards the end of the 19th century. The first scooters were wooden kick scooters consisting of only plain pieces of wood and wheels. They were easily made by families as toys for their children. Soon, motorized variants were invented. The first motor scooter, which was called an "autoped," was invented in the USA in 1915 (Gibson, 1915) and became widespread with the demand for electric and dockless scooters known as e-scooters (Kobayashi et al., 2019; Hardt & Bogenberger, 2019). Although light transportation vehicles such as bicycles and scooters have been around for a long time, they have gained momentum in recent years since electric models have emerged. As a result of the increase in demand, the frequent use of micromobility vehicles, especially e-scooters, has necessitated the establishment of legal regulations

and sanctions on the subject. Today, dockless e-scooter sharing (ESS) and dockless Bike Sharing System (BSS) are the most common modes of micromobility (Blazanin et al. 2022).

E-bikes and e-scooters, which offer effective solutions to the problem of short-distance and low-speed transportation in big cities, can be owned or shared. Today, shared e-scooters and e-bikes are preferred by more and more people due to the advantages they provide, which has led to a surge in the number of companies renting them. Therefore, stations where these vehicles can be rented have started to be established in almost all major cities (Fishman et al., 2013). Among the advantages they provide are being faster than other means of transportation in heavy traffic in cities, eliminating the stress deriving from finding a suitable parking space or driving in heavy traffic, in addition to the ease of rental and payment, no purchase and maintenance costs, and an increase in physical activity. Being environmentally friendly is also seen as one of the biggest reasons for preference (Teixeira et al., 2020; Blazanin et al., 2022). In addition, everyone, regardless of their financial situation, has almost the same opportunity to access micromobility vehicles. Considering that these tools are cheap enough to be used by everyone, it is possible to say that they help to achieve social equality among people (Lucas et al., 2016).

## 2. Literature Review

Increasing demand for micromobility, and for fleets that can rent these small vehicles, has led to an increase in technical and academic studies on this subject (Bai et al., 2021). Some of these studies focus on the benefits of using micromobility. For example, Dias and Riberio (2021) studied the environmental, social, and economic benefits of micromobility. They found empirical evidence that micromobility vehicles have caused a significant reduction in CO<sub>2</sub> emissions and fossil fuel consumption. It is concluded that micromobility vehicle sharing systems are important in terms of ensuring social equality as they provide transportation to everyone under equal conditions and with equal means. Nevertheless, it is recommended to support social equality by reducing the cost of using micromobility vehicles in areas where people with low purchasing power live. They also found that micromobility causes economic benefits since it reduces travel time and cost. Hardt and Bogenberger (2019) found that problems related to heavy traffic, parking, or emissions could be reduced by the wider use of e-scooters. Another advantage that micromobility brings is sustainability. Because the use of motor vehicles for short-distance trips is reduced, emissions, traffic congestion, noise pollution, and carbon footprint are reduced, too (Fishman et al., 2013; Hardt & Bogenberger, 2019; Abduljabbar et al., 2021).

Some studies aimed to find out for which activities e-scooters are mostly used. In their study conducted in Austin, Texas, Bai et al. (2021) investigated the activities for which e-scooters are needed and found that there is a strong correlation between e-scooter use and daily eating, drinking, shopping, and entertainment activities. They also found that e-scooters are used more in city centers and on university campuses, while multiple studies have found e-scooters are specifically suitable for short trips (Hardt & Bogenberger, 2019; Mathew et al., 2019; Noland, 2019).

Some studies were made as to who rides e-scooters the most and why they are preferred. According to the study by Degele et al. (2018), micromobility users are mostly male and in their late twenties. The studies by Reck and Axhausen (2021) and Orozco-Fontalvo et al. (2022), who found that young, upscale men mostly use shared micromobility vehicles, supported this finding. Zhang et al. (2021) conducted research with 2000 students on the campus of Virginia Tech and found that students' preference to ride e-scooters changes with the ease of the roads. They prefer to ride e-scooters on bikeways the most and on one-way roads the least. Zhang et al. (2021) also found that, unlike bicycle riders, the slope of the road does not matter for e-scooter riders since the e-scooters work on electricity, not manpower. The use of electricity has other benefits for cities, too. It was also discovered that one of the reasons people prefer e-scooters is that they are easily charged and suitable for short distance trips. These benefits have increased the number of people who prefer micromobility vehicles to automobiles for short distances, particularly when traveling to and from train or metro stations for in-city transportation (Woods, 2019).

Among micromobility vehicles, the most flexible one is e-scooters since they don't require drop off at a station and can easily be found and used by smartphone applications or GPS (Global Positioning System) technology (Zarif, Pankratz, & Kelman, 2019; Hosseinzadeh et al., 2021).

Although micromobility vehicles are getting more popular and have more benefits compared to other transportation vehicles, they have some drawbacks, such as having no baggage capacity, being vulnerable to inclement weather, and being less safe. The increase in their usage increased concerns for the safety of both e-scooter users and pedestrians (Sikka et al., 2021). It was found by Bozzi and Aquilera (2021) that e-scooter users are more reluctant to put on helmets compared with bicycle users. It may even have a deterrent effect for people in countries where wearing a helmet is a must.

Safety is an important factor affecting the use of these vehicles. Blazanin et al. (2022) revealed that the safe use of micromobility tools is very important, and measures should be taken to ensure this. It is also emphasized that safe transportation with these vehicles is at least as important as the green transportation provided by these vehicles. The same point was emphasized by Sagaris and Tiznado-Aitken (2023), who found that the fact that drivers drive dangerously and that there are insufficient roads for micromobility vehicles prevents them from being preferred. Bozzi and Aquilera (2021) investigated the use of e-scooters from multiple perspectives and found similarities between e-scooter users and users of other micromobility vehicles. They also found that there is a perception that e-scooters are risky and cause accidents. They concluded that in order for the use of e-scooters to become widespread, existing rules and systems on roads and traffic need to be changed and more research needs to be done on the future of e-scooters. The study by Bozzi and Aquilera (2021) revealed that production, use, and maintenance attitude processes should be re-evaluated from the perspective of green vehicle perception.

In addition to the above-mentioned study by Zhang et al. (2021), there are some studies that focused on university students' use of micromobility, particularly e-scooters. One of them is carried out by Moosavi et al. (2022), who identified eleven factors that can affect the e-scooter use of university students' and staff. The factors are daily travel patterns on campus, availability of green space and water, age, road surface quality, daily travel time and cost on campus, monthly income, private vehicle ownership, connected roads, transportation to and from campus, and gender. That is; young women aged 18–29 with an average monthly income were the most likely to always use e-scooters for transportation on campus. They also found that men between the ages of 45 and 60 with high monthly salaries used micromobility vehicles less. The main deterrents were safety issues and the cost of renting e-scooters, while road characteristics and proper infrastructure, such as green spaces and separate lanes for scooters, were key drivers. In addition, the most important advantages of riding an e-scooter from the point of view of the respondents were the lack of social distance during the pandemic and the lack of parking problems.

In another study that was focused on university students, Eccarius and Lu (2020) found that legal regulations should be made regarding e-scooters and that the use of shared scooters should be encouraged rather than scooter ownership. They also found that students have environmental awareness, but this awareness does not play a major role in their choice to use e-scooters. In addition, they found that the use of e-scooters varies according to the subject they study at the university and that female students are more likely to use e-scooters.

### **2.1. A brief history of micromobility from the perspective of e-scooters in the world and in Türkiye**

Scooters first appeared on the world stage in the late 19th century, when a simple toy consisting of a pair of wheels and a piece of plank was used by children for recreational purposes. Based on this simple prototype, the first model, which can be regarded as the ancestor of scooters as we currently recognize them, was developed by the Autoped company in New York in the early 20th century. Initially produced in the USA, the model started to be manufactured in Germany in the 1920s but did not become widespread. Photographs from that period show that scooters were used by police officers, postal deliverymen, or members of the higher social classes (Unagiscooters, 2023). In the following years, e-scooters, which have become increasingly popular, were mass-produced in factories and started to be

used as an environmentally friendly, cheap, parking-free, and healthy alternative to urban transportation. Statistics show that e-scooter services provided by popular companies such as Bird, Lime, and Jump in the USA were preferred by 321 thousand people in 2011, while this number increased to 136 million in 2019 (NACTO, 2020). A report on the future of e-scooters finds that by 2030, the e-scooter industry will be worth \$200 billion to \$300 billion in the US, about \$100 billion to \$150 billion in Europe, and \$30 billion to \$50 billion in China (Heineke et al., 2019).

As in many other countries, the first step in the field of micromobility in Türkiye was taken by bicycle sharing. Yapdrom was the first company to be established in this field in 2011. The rapidly expanding company now operates 30.000 vehicles under the brand names Isbike in Istanbul and Bisim in Izmir. Secondly, Martı, Türkiye's first scooter sharing system, was established in 2019. Growing in a short time, Martı started to serve in more than 15 cities with 50 000 vehicles and started to cover e-scooters as well as e-bikes and e-mopeds. Another big company in this field is HOP, which started serving at Ankara University in 2019 and then grew to over 15,000 scooters in 18 cities. In addition, BinBin, which was also established in 2019, is one of the major companies serving in the field of micromobility and especially e-scooters in Türkiye, including indoor areas such as Istanbul Airport. Apart from these, there are 10 companies such as AT, Palm, Volly, Scooby, and Hey in the micromobility service provider market. There are also foreign companies such as "Superpedestrian" and "Go Sharing" serving in Türkiye. Today, Istanbul, the most populous city in Türkiye, is home to 36,000 e-scooters according to 2022 figures. Shared mobility is still in its early stages but has great potential for growth (Gauquelin, 2022).

In one of the studies on e-scooters in Türkiye, Ayözen et al. (2022) investigated the benefits of e-scooters in mail and small package delivery and concluded that they have positive contributions in terms of time, cost, and energy, especially in preventing air pollution. Research by Karlı et al. (2022) has shown that e-scooter users are positively influenced by each other's experiences and opinions, that they see e-scooters as convenient means of short-distance transportation, and that the ease of use of these vehicles increases their rate of preference. In addition, according to their research, the fact that e-scooters are cheaper than other means of transportation is also a reason for preference. The study also concluded that e-scooters are used for transportation rather than hedonistic purposes, and that the most important reason for e-scooter preference is not environmental awareness.

### 3. Materials and methods

This study tries to reveal the habits surrounding micromobility vehicle use, with an emphasis on e-scooters, among university students. The school where the interviews were conducted is a maritime university located on the coastline of a district in Istanbul. Although there are different ways of transportation from the city center to the university campus, direct access to the campus is provided only by bus. If the students prefer to take the train, Marmaray, to the district where the school is located, they have to take a bus, minibus or shuttle bus provided by the university to arrive at the campus since the train station is not within walking distance of the campus. The distance between the train station and the campus is 4.5 kilometres. The district where the school is located is crowded every day of the week, especially on weekends, and has a long coastline along which there are bike paths. There is heavy traffic congestion, especially on weekends.

The students don't need any kind of transportation on the campus since everywhere is within walking distance. They cannot ride on e-scooters even if they want to because there are stairs between two main buildings on the campus. For these reasons, the questions were asked in reference to their off-campus transportation habits.

#### 3.1. Data Collection

In this study, the semi-structured interview method was used. In this method, the researcher conducts the interview with certain topics or questions prepared in advance. During the interview, changes can be made to the order of the questions, the way the questions are asked, and questions can be added or removed by the researcher in the context of the interview topic (TUBITAK, 2023).



The interviews were conducted with 15 male and 15 female students studying at the Maritime Vocational School. The interviews, which lasted about 10–13 minutes each, were conducted one-on-one between the researcher and the students, and the responses were recorded in writing to protect the privacy of the students.

During the interviews, students were first asked how often they use micro-mobility transportation vehicles such as e-scooters or e-bikes. Then the interview continued with detailed questions to investigate some of the features related to their use. For the questions related to the hypotheses, they were presented with answer options, and their responses were noted.

The students were then asked if they had anything to add about the subject, and the interview continued with open-ended questions when necessary. For example, when a student mentioned a situation that some of his or her friends faced, the researcher asked the student, "What would your reaction be in this situation?"

If the student stated that he or she had never ridden these vehicles, the reasons for this were sought, and the student's general opinion about micromobility transportation vehicles was sought through general questions.

### **3.2. Hypotheses**

Research reveals that there is a gender gap in micromobility vehicle usage. Degele et al. (2018), Teixeira et al. (2020) and Kailai et al. (2022) found that e-scooters are mostly used by men. Likewise, Reck and Axahusen (2021) found that only around 30% of the micromobility users in Zurich were female. Based on these findings, the first hypothesis was formulated as follows:

H1 Male university students prefer micromobility vehicles more than female university students do.

Safety is one of the most important factors that prevents students from riding e-scooters. Those who think e-scooters are unsafe would never ride e-scooters (Moosavi et al., 2022). E-scooters have even been banned on some university campuses, claiming they are unsafe and cause too many accidents (Abdulahi, 2022). Moosavi et al. (2022) found that 85 percent of the participants in the research that they conducted on a university campus underlined that safety was the most important issue. Depending on these studies, the second hypothesis was formulated as follows:

H2 Safety is the most important factor for university students using e-scooters.

E-scooter riders often use sidewalks, which can be dangerous for pedestrians. Fitt and Curl (2019) and James et al. (2019) argue that the majority of e-scooter users (90%) ride them on the sidewalk. Because this is dangerous for pedestrians, sidewalks should be banned for them. However, some studies have found that e-scooter users prefer the roadway rather than the sidewalk (Arellano & Fang, 2019; Christoforou et al., 2021; James et al., 2019) and are, therefore, exposed to many hazards. Either way, e-scooter users cause danger or are exposed to it. Thus, e-scooter users should be allocated special roads. Based on these results, the third hypothesis can be formulated as follows:

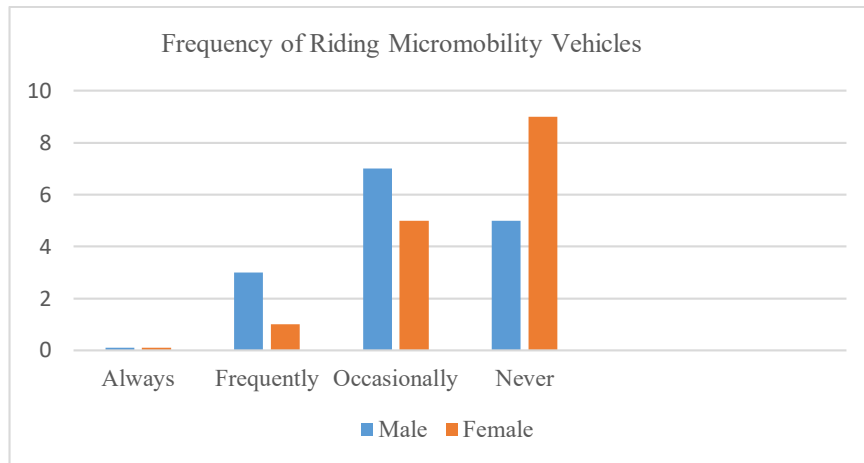
H3 If a special lane is allocated for e-scooters, they will be used by more people.

Studies have shown that the use of micromobility vehicles could reduce energy demand by 50% (Şengül & Mostofi, 2021). Shared e-scooters can be environmentally friendly if they can reduce motor vehicle usage as expected, although this has not been proved yet (Caspri et al., 2020). Hollingsworth et al. (2020) have shown that there will be clear environmental benefits if e-scooter use reduces car use. Studies also show that university students have a high level of environmental consciousness (Arshad et al., 2021; Ningrum & Herdiansyah, 2018; Eren & Yaqub, 2015). Based on these findings, the following hypothesis can be proposed:

H4 Because they care about the environment, university students are expected to prefer electric transportation vehicles over motorized transportation vehicles for short distance travel.

### 3.3. Findings

The first question in the interview was asked to find out how often students ride e-scooters or other e-micromobility vehicles. They were given four choices for their frequency of riding micromobility vehicles. Figure 2 shows the responses of the students according to their gender.

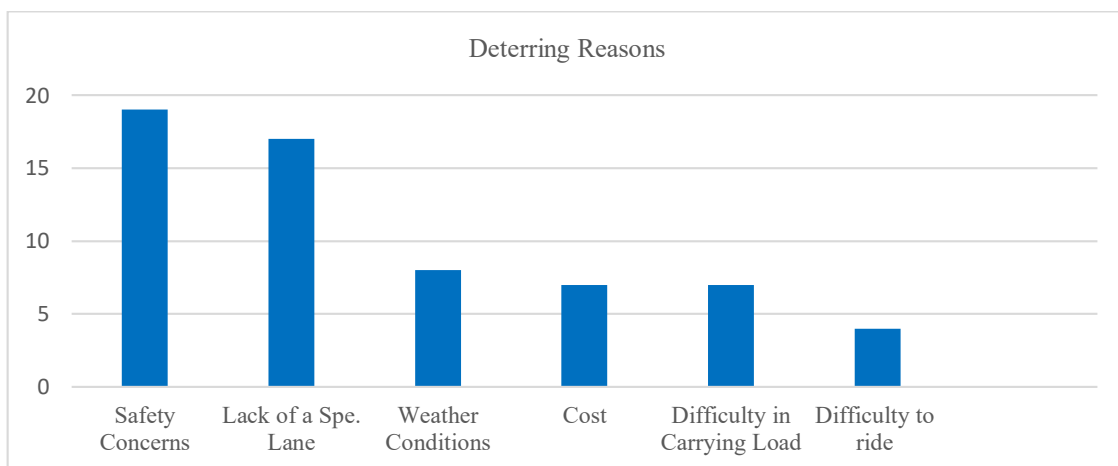


**Figure 2.** Micromobility using frequency by gender

5 of the 15 male students who participated in the interviews stated that they *never* used micromobility vehicles, while 7 of the remaining 10 students stated that they had used them *occasionally* and 2 of them used *frequently*. There was no one who said that he or she *always* used them. In the case of female students, only 1 out of 15 randomly selected female students who participated in the research stated that she had *frequently* used e-micromobility vehicles such as e-scooters and e-bikes, while 5 of them said that they used them *occasionally*, 9 female students said that they had *never* used them. None of the male or female students stated that they had *always* used micromobility vehicles.

Thus, the number of male students who use micromobility vehicles, especially e-scooters, is higher than the number of female students, and H1 is supported.

The fact that the majority of the students taking part in the interview had never ridden on any e-micromobility vehicles prompted the question that asked the reason for this. Figure 3 gives the reasons why these students never use micromobility. Some of the students indicated more than one reason, all of which were covered in the Figure 3.



**Figure 3.** The reasons deterring students from using micromobility

As the figure shows, concerns for safety are among the biggest reasons for students not to prefer micromobility, especially e-scooters. They prefer to ride e-scooters on safe roads such as bicycle roads; however, the scarcity of these roads in the district where the university is located is a factor that prevents them from riding e-scooters widely. Although the students stated that the issue of safety was very important to them, they admitted that they neglected the issue of wearing a helmet, which is seen as the most important prerequisite for the safety of micromobility users. The next reason for not using e-scooters is the lack of special lanes for e-bikes or e-scooters, which means they have to use them on pedestrian roads. That is not safe for them and for pedestrians because micromobility vehicles go much faster than pedestrians do, which causes accidents. Some students said they could use micromobility when the weather was nice or when there was a light rain, but they could not ride them when it rained heavily or when it snowed. Some students stated that they did not prefer them because of the high rental costs. Although low rental costs were defined as a positive side of using e-scooters (Sikka et al., 2019), they were most often described as a negative side by the participants in this study, which suggests the fact that there are differences from country to country or from student to student regarding the purchasing power of the students.

Following are some excerpts from the students related to this question:

*"It's difficult to carry things on e-scooters, but not on e-bikes. I prefer e-scooters only if I don't have to carry anything."*

*"E-scooters are not as cheap as they used to be. They were cheap when they were first introduced, but now they have become quite expensive, so I prefer to walk to nearby places. In fact, it would be nice if there was a student discount."*

A few of them said they did not think they were safe while riding them. One student said:

*"I have a hard time keeping my balance while riding e-scooter. Especially if I have a heavy backpack, I feel like I'm going to fall even on gentle curves."*

Because safety concerns were mentioned most frequently by students as a deterrent factor to using e-scooters, H2 is accepted.

The third hypothesis was "If a special lane is allocated for e-scooters, they will be used by more people." In the interviews, it was seen that the second-most important reason preventing students from using e-scooters was the lack of a special lane reserved for e-scooters. It was found that the reasons given by students who demanded a special lane for e-scooters varied according to their gender. The following are selected excerpts from student statements related to this issue:

*"I don't want to use my e-scooter on the sidewalk because pedestrians go too slowly, and I don't want to use it on the driveway because cars go too fast." In this case, I think having a separate lane for e-scooters would make more people, including me, prefer them. (A male student)*

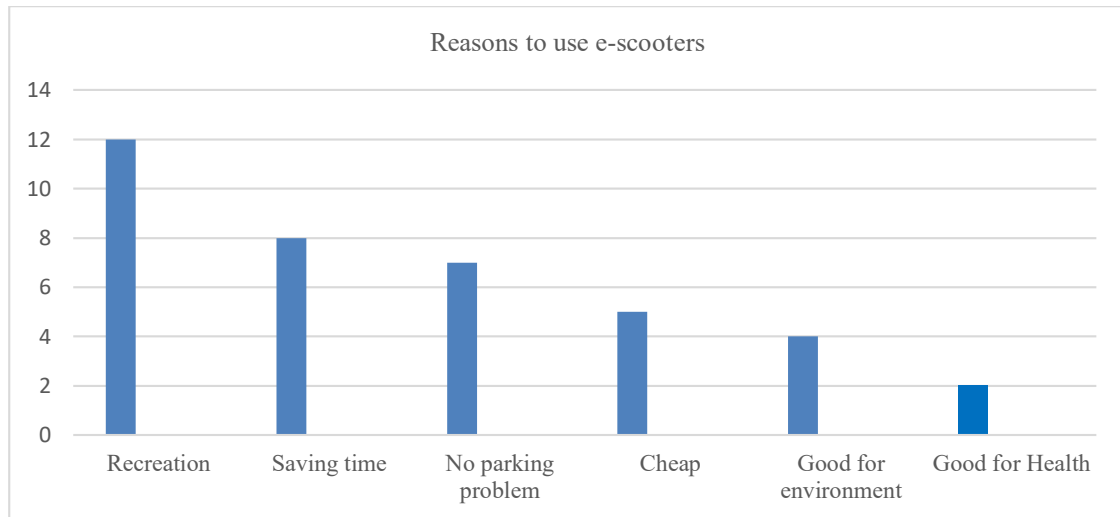
*"Yes, it is dangerous to use an e-scooter on the highway because it is reserved for motor vehicles, and drivers don't want to see any micromobility vehicles there." "Especially if they realize that the person driving this vehicle is a woman, they may try to harass her, deliberately, drive over her, or try to run her off the road." (A female student)*

*"I never thought about using an e-scooter." "When the roads are so dangerous even for women drivers, women e-scooter users have no chance." (A female student)*

*"My intention to use an e-scooter may vary depending on location." "I might consider using it in crowded places with more educated people, but I don't think by-walks are safe for female users, especially after it gets dark." (A female student)*

Based on the responses by the students and statements related to this question, H3 was validated.

In order to test the next hypothesis, the students who participated in the interviews were asked about their reasons for preferring e-mobility vehicles. They were given five options, one of which was "because I care about the environment." Students chose among these options to determine what motivated them to use micromobility. They were free to make more than one choice. Figure 4 shows the responses to this question.



**Figure 4.** The reasons motivating students for micromobility

As Figure 4 shows, caring for the environment was not one of the top reasons given by the students who chose micromobility, particularly e-scooters. They stated that their primary purpose in choosing this mode of transportation was to have fun and have a good time. Two of them said:

*“It is nice to ride e-scooters along the coast line and watch the sunset. That’s the only reason that my friends and I rent e-scooters.”*

*“It’s nicer to ride an e-scooter when you don’t have to rush anywhere, when you’re not in a hurry, just for pleasure.”*

Secondly, they said that they could reach their destination quickly, without being stuck in traffic, on e-scooters. The next reasons for the students to choose e-scooters were having no parking problems and spending less money on transportation. Although the students said they cared about the environment as much as possible, the option of "good for the environment" came after these choices, which means that students do not have a strong sense of environmental consciousness, or they are aware of the importance of environment protection but they don’t put their thoughts into practice.

Two of the students said:

*“I don’t have to ride e-scooter because I have a car. No matter how close the place I want to go, I prefer my car to e-scooters.”*

*“I prefer to drive to wherever I go, even if it’s close. I know it’s bad for the environment, but I like driving.”*

On the other hand, this conclusion supports the findings of Abbas and Singh (2014), who said that students are aware of the importance of environmental protection but do very little in practice to protect the environment. It was revealed that students were aware of the need to protect the environment, but they did not put this into action and did not reflect it in their actions (Novotný et al., 2021; Ozdemir, 2021).

The last option in this question was “Good for Health”. Almost none of the students preferred e-scooters due to the fact that they require physical movement, which is beneficial for health.

Based on these findings, it is concluded that the students' primary reason for preferring e-scooters is not to protect the environment but for recreation. Therefore, H4 is rejected.

#### 4. Conclusion

This study revealed that the participants, who are the students of a university in Istanbul, do not regard e-scooters as a convenient alternative for short-distance transportation. The study focused on investigating students' off-campus e-scooter use, based on the fact that students would not need to use e-scooters at the university because the campus is small and has stairs. However, most students indicated that they have never tried to use e-scooters off-campus either.

The study showed that the biggest concern of the students regarding e-scooter riding is safety. The students approached the safety issue from several perspectives. They stated that the lack of a special lane reserved for e-scooters reduces the safety of the roads in the first place. They also complained about the motor vehicle drivers who ignored them and caused accidents. A particular complaint by female students was that some drivers, realizing that the e-scooter user was a girl, deliberately tried to push them out of the road. Reasons such as the difficulty of using them in unfavorable weather conditions or their inability to carry heavy backpacks while using them were less emphasized by students. Interestingly, a few students said that they had difficulty balancing on the e-scooter and did not feel safe.

From the gender perspective, it was found that male students tended to use e-scooters more than female students did, since the majority of female students said they had never tried e-scooters or their only experience with scooters was using them as toys when they were children, which was not surprising given the possibilities of harassment they mentioned.

The study also found that students studying at a green university and identifying themselves as environmentally conscious did not use e-scooters primarily to protect the environment, as one might expect, but rather for recreation, which might be considered less likely for environmentally conscious students.

Depending on the above-mentioned results of the study, the following recommendations can be made to promote micromobility, especially e-scooter usage, among students to create an environment free from noise and air pollution, and to offer an alternative for short distance transportation:

- The number of existing roads or lanes for micromobility users should be increased since this is the top factor deterring students from using these vehicles.
- Since one of the biggest reasons why students do not want to use e-scooters is the harassment by motor vehicle drivers, it is necessary to make these drivers aware of the rights of other road stakeholders. However, it is undoubtedly a two-way phenomenon. It should be emphasized on every platform possible that both e-scooter and motor vehicle users should respect each other's rights. Awareness-raising measures such as informative and educational films or announcements should be intensively disseminated through the media. As another awareness-raising measure, the bad results of the incidents caused by not following the rules and not respecting each other's rights should be shared frequently in the media, and awareness should be raised. Likewise, good results from good practices should also be shared.
- Some habits can be very difficult, if not impossible, to acquire at the university level. This is why habits such as being considerate and careful in traffic or respecting women should be acquired at a young age. Children should be taken to traffic education parks from an early age, and awareness of safety in traffic and respect for other drivers and pedestrians should be raised.

In this way, respect for users of micromobility vehicles and women can be established to a certain extent.

- The habit of wearing a helmet should definitely be established, and the lack of a helmet should be severely punished.
- To encourage university students to use e-scooters, they should be given a discount on their cost or a student tariff should be charged.
- It should be emphasized that using e-scooters will contribute to creating a green environment, and students should be encouraged to use e-scooters as much as possible, at least on the roads that they find safe.

Today, e-scooters are faster than walking, cheaper and more environmentally friendly than driving, easier to access than taxis, and also enjoyable to use. They are preferred, especially by young people, for short-distance transportation. Depending on the place, they are regarded as the best mode of transportation for university students traveling short distances to and from campus. Since the campus where this study was conducted is too small to allow the use of e-scooters, the e-scooter habits of the students were examined only on the basis of their transportation to and from the campus. This issue constitutes a limitation of the research. Future studies on this subject can be conducted on a larger campus to examine students' on-campus e-scooter usage habits.

#### **Researchers' Contribution Rate Statement**

All stages of the study were carried out by the corresponding author.

#### **Acknowledgment and/or disclaimers, if any**

This research received no specific grant from any funding agency.

#### **Conflict of Interest Statement, if any**

There is no conflict of interest to declare.

#### **References**

**Abbas, R. M. & Singh, R.** (2014). A Survey of Environmental Awareness, Attitude, and Participation amongst University Students: A Case Study. *International Journal of Science and Research*, (3) 5, 1755-1760.

**Abdulahi, S.** (2022). E-Scooters Spark New Safety Concerns Across Campuses. *Inside Higher Education*. Retrieved on Feb. 2 from <https://www.insidehighered.com/news/2022/12/16/e-scooters-spark-safety-concerns-across-campuses>.

**Abduljabbar, R.L., Sohani, L. & Dia, Hussein.** (2021) The role of micro-mobility in shaping sustainable cities: A systematic literature review. *Transportation Research Part D* 92. 102734. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102734>

**Arellano, J. & Fang, K.** (2019). Sunday Drivers, or Too Fast and Too Furious? *Transport Findings*. 10.32866/001c.11210. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/338238464\\_Sunday\\_Drivers\\_or\\_Too\\_Fast\\_and\\_Too\\_Furious](https://www.researchgate.net/publication/338238464_Sunday_Drivers_or_Too_Fast_and_Too_Furious)

**Arshad, H. M., Saleem, K., Shafi, S., Ahmad, T., & Kanwal, S.** (2021). Environmental Awareness, Concern, Attitude and Behavior of University Students: A Comparison Across Academic Disciplines. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1), 561-570. <https://doi.org/10.15244/pjoes/122617>

**Ayözen YE, İnaç H, Atalan A. & Dönmez CÇ. E.** (2022). Scooter Micro-Mobility Application for Postal Service: The Case of Turkey for Energy, Environment, and Economy Perspectives. *Energies*. 15(20):7587. <https://doi.org/10.3390/en15207587>

**Bai, S., Jiao, J., Chen, Y. & Guo, J.** (2021) The relationship between E-scooter travels and daily leisure activities in Austin, Texas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* (95) 102844, ISSN 1361-9209. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102844>.

**Blazanin, G., Aupal, M., Asmussen, K.E. & Bhat, C. R.** (2022). E-scooter sharing and bikesharing systems: An individual-level analysis of factors affecting first-use and use frequency. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* (135). <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103515>.

**Bozzi, A.D. & Aguilera, A.** (2021). Shared E-Scooters: A Review of Uses, Health and Environmental Impacts, and Policy Implications of a New Micro-Mobility Service. *Sustainability*, 13, 8676. <https://doi.org/10.3390/su13168676>

**Caspi O, Smart MJ. & Noland RB.** (2020) Spatial associations of dockless shared e-scooter usage. *Transp Res D Transp Environ. Sep;86:102396*. doi: 10.1016/j.trd.2020.102396. Epub 2020 Jul 2. PMID: 32834737; PMCID: PMC7329686

**Christoforou, Z., Gioldasis, C., de Bortoli, A. & Seidowsky, R.** (2021). Who is using e-scooters and how? Evidence from Paris. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 92 (23). 102708. 10.1016/j.trd.2021.102708. DOI:[10.1016/j.trd.2021.102708](https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102708)

**Degele, J., Gorr, A., Haas, K., Kormann, D., Krauss, S., Lipinski, P., Tenbih, M., Koppenhoefer, C., Fauser, J. & Hertweck, D.** (2018). Identifying e-scooter sharing customer segments using clustering. In: 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). IEEE, pp. 1–8.

**Dias, G. J. C. & Riberio, P. J. G.** (2021) Micromobility: a systematic literature review on the measurement of its environmental, social, and economic impacts on urban sustainability. European Transport Conference 2021. Retrieved from <http://repositorium.uminho.pt/bitstream/1822/78533/1/ETC2021%20Dias%20Arsenio.pdf>.

**Eccarius, T. & Lu, C. C.** (2020). Adoption intentions for micro-mobility – Insights from electric scooter sharing in Taiwan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (84). 102327. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102327>.

**Eren, B. & Yaqub, M.** (2015). Environmental Consciousness Survey of University Students. ISITES2015 Akademik Platform. Conference paper. Retrieved from <https://www.isites.info/PastConferences/ISITES2015/ISITES2015/papers/C1-ISITES2015ID54.pdf>

**Fishman, E., Washington, S. & Haworth, N.** (2013) Bike Share: A Synthesis of the Literature. *Transport Reviews*, 33:2, 148-165. DOI: 10.1080/01441647.2013.775612

**Fitt, H. & Curl, A.** (2019). E-scooter use in New Zealand: Insights around some frequently asked questions. Technical Report. 10.13140/RG.2.2.13510.93761. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/333773843\\_E-scooter\\_use\\_in\\_New\\_Zealand\\_Insights\\_around\\_some\\_frequently\\_asked\\_questions](https://www.researchgate.net/publication/333773843_E-scooter_use_in_New_Zealand_Insights_around_some_frequently_asked_questions)

- Gauquelin, A.** (2022). Turkey: An emerging market bursting with opportunity for shared mobility. Retrieved from <https://shared-micromobility.com/turkey-an-emerging-market-bursting-with-opportunity-for-shared-mobility/>
- Gibson, A.H.C.** (1915). Self-propelled vehicle. United States: Patent Office, 1915. <https://patentimages.storage.googleapis.com/60/17/4b/7d0fcfa10b2cd4/US1192514.pdf>
- Hardt, C. & Bogenberger, K.** (2019). Usage of e-Scooters in Urban Environments. *Transportation Research Procedia*, (37) 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.178>.
- Heineke, K., Kloss, B., Scurtu, D. & Weig, F.** (2019). Micromobility's 15,000-mile checkup, a report by McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/micromobilitys-15000-mile-checkup>
- Hollingsworth, J.; Copeland, B. & Johnson, J. X.** (2019). Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environmental Research Letters*, (14) 8. 084031. DOI 10.1088/1748-9326/ab2da8
- Hosseinzadeh, A., Algomaiah, M., Kluger, R. & Li, Z.** (2021). E-scooters and Sustainability: Investigating the Relationship between the Density of E-Scooter Trips and Characteristics of Sustainable Urban Development. *Sustainable Cities and Society*. 66. 10.1016/j.scs.2020.102624.
- ITF.OECD** (2020). *Safe Micromobility Report*. Retrieved from [https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safe-micromobility\\_1.pdf](https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safe-micromobility_1.pdf)
- James, O., Swiderski, J.I., Hicks, J., Teoman, D., & Buehler, R.** (2019). Pedestrians and E-Scooters: An Initial Look at E-Scooter Parking and Perceptions by Riders and Non-Riders. *Sustainability*, 11, 5591. <https://doi.org/10.3390/su11205591>
- Kailai W., Xiaodong Q., Fitch, D. T. Lee, Y., Malik, J. & Circella, G.** (2022). What travel modes do shared e-scooters displace? A review of recent research findings. *Transport Reviews*. 1–27 [doi.org/10.1080/01441647.2021.2015639](https://doi.org/10.1080/01441647.2021.2015639).
- Karlı, R. K. Ö., Karlı, H. & Çelikyay, H.S.** (2022). Investigating the acceptance of shared e-scooters: Empirical evidence from Turkey. *Case Studies on Transport Policy* (10) 2.1058-1068 <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.03.018>.
- Kobayashi, LM., Williams, E., Brown, CV., Brent, J.E, Bansal, V., Badiee, J., Checchi, K.D., Castillo, E.M. & Doucet, J.** (2019). The e-merging e-pidemic of e-scooters. *Trauma Surg Acute Care Open*;4:e000337. doi:10.1136/tsaco-2019-000337
- Lucas, K., Mattioli, G., Verlinghieri, E. & Guzman, A.** (2016). Transport poverty and its adverse social consequences. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*, 169(6), 353–365. doi:<https://doi.org/10.1680/jtran.15.00073>
- Mathew, J. K., Liu, M. & Bullock, D. M.** (2019). Impact of Weather on Shared Electric Scooter Utilization. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, Auckland, New Zealand, 2019.4512-4516, doi: 10.1109/ITSC.2019.8917121
- Merriam-Webster.** (2023). Micromobility. In Merriam-Webster.com dictionary. Retrieved from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/micromobility>.
- Moosavi, S.M.H., Ma, Z., Armaghani, D.J., Aghaabbasi, M., Ganggayah, M.D., Wah, Y.C. & Ulrich, D.V.** (2022). Understanding and Predicting the Usage of Shared Electric Scooter Services on University Campuses. *Applied Sciences* 12. <https://doi.org/10.3390/app12189392>



**NACTO** (2020). 136 million trips taken on shared bikes and scooters across the U.S. in 2019. Retrieved from <https://nacto.org/2020/08/27/136-million-trips-taken-on-shared-bikes-and-scooters-across-the-u-s-in-2019/>.

**Ningrum, Z. B., & Herdiansyah, H.** (2018). Environmental awareness and behavior of college students in regards to the environment in urban area. In International Conference Series on Life Cycle Assessment: Life Cycle Assessment as A Metric to Achieve Sustainable Development Goals (ICSoLCA 2018) (Vol. 74, pp. 0–5). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187410004>

**Noland, R.** (2019). Trip patterns and revenue of shared e-scooters in Louisville, Kentucky. *Transport Findings*. 10.32866/7747.

**Novotný, R., Huttmanová, E., Valentiny, T., & Kalistová, A.** (2021). Evaluation of Environmental Awareness of University Students: the Case of the University of Presov, Slovakia. *European Journal of Sustainable Development*, 10(2), 59. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2021.v10n2p59>

**Orozco-Fontalvo, M., Llerena, L. & Cantillo, V.** (2022) Dockless electric scooters: A review of a growing micromobility mode. *International Journal of Sustainable Transportation*.

**Ozdemir, P.** (2021). Awareness of Maritime Students about Marine Environmental Issues. *Proceedings of the International Scientific Conference SEA-CONF*. 374-383. doi: 10.21279/2457-144X-21-045

**Reck, D.J. & Axhausen, K. W.** (2021) Who uses shared micro-mobility services? Empirical evidence from Zurich, Switzerland. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 94. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102803>. DOI: 10.1080/15568318.2022.2044097

**Sagaris, L. & Tiznado-Aitken, I.** (2023). New horizons for sustainable transport planning: An analysis of seven years of gender-related research in Chile. *Journal of Transport and Health*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2022.101544>.

**Shaheen, S., Guzman, S. & Zhang, H.** (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2143: 159–167. doi: 10.3141/2143-20

**Sikka, N., Vila, C., Stratton, M., Ghassemi, M. & Pourman, A.** (2019). Sharing the sidewalk: A case of E-scooter related pedestrian injury. *American Journal of Emergency Medicine*. 37. 1807 e5-1807 e7. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.06.0179>

**Şengül B. & Mostofi H.** (2021). Impacts of E-Micromobility on the Sustainability of Urban Transportation—A Systematic Review. *Applied Sciences*. 11(13):5851. <https://doi.org/10.3390/app11135851>

**Teixeira, J.F., Silva, C. & Moura e Sá, F.** (2020). Empirical evidence on the impacts of bikesharing: a literature review. *Transport Reviews* 41 (3) 329–351. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1841328>

**TUBITAK** (2023). TUBITAK; TÜSSIDE. *Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü*. Retrieved from <https://tusside.tubitak.gov.tr/tr/yontemlerimiz/Derinlemesine-Gorusme>

**Unagisooters.com.** (2023). The scooter, a history. Retrieved from <https://unagisooters.com/scooter-articles/the-scooter-a-history/>

**Woods, J.** (2019). Small is beautiful Making micromobility work for citizens, cities, and service providers [WWW Document]. URL <https://eukalypton.com/fr/2019/04/22/explore-the-future-of-mobility/>.

**Zarif, R., Pankratz, D. M. & Kelman, B.** (2019). Small is beautiful: Making micromobility work for citizens, cities, and service providers. Retrieved from

<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/micro-mobility-is-the-future-of-urban-transportation.html> accessed 25/10/19

**Zhang, W., Buehler, R., Broaddus, A. & Sweeney, T. (2021).** What type of infrastructures do e-scooter riders prefer? A route choice model. *Transportation Research Part D Transport and Environment*. 94. 10.1016/j.trd.2021.102761.

## Araştırma Makalesi

### Bursa ve Antalya'nın akıllı kentiçi ulaşım denemeleri

Onur Uzer<sup>1,\*</sup>, Ahmet Özasan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rektörlük Birimi, Ortak Dersler Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye

<sup>2</sup>Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi, Bağımsız Araştırmacı, Türkiye

\*Correspondence: [onur.uzer@btu.edu.tr](mailto:onur.uzer@btu.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1257238

**Özet:** Günümüzde insanca yaşam için kentler kritik bir öneme sahiptir. 1980'lerle birlikte neoliberal politikalar ve küreselleşmenin yoğunlaşması kentsel alanlara göçü tetikleyerek nüfus artışlarını beraberinde getirmiştir. Özellikle metropoliten alanlar, artan nüfusu taşıyabilmek için kontrolsüz şekilde yayılmıştır. Plansız ve kontrolsüz kentsel gelişim mekansal, çevresel ve sosyo-ekonomik alanlarda büyük sorunlara yol açmıştır. Kentlerin karşı karşıya kaldığı bu sorunlara çözüm üretebilmek için sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin yükseltilmesi temelinde, yeni kentsel gelişim yaklaşımları gündeme gelmiştir. Bu yaklaşımlardan birisi olan akıllı kent; bilgi ve iletişim ağlarındaki eşgüdümlü bütünleşmenin yenilikçi, verimli ve sürdürülebilir şekilde yansıtıldığı yerlerdir. Bu yaklaşım, ekonomi, insan, yönetim, yaşam, ulaşım ve çevreden oluşan çok bileşenli bir yapıya sahiptir. Çalışmanın amacı, akıllı kent bileşenlerinden birisi olan akıllı ulaşım stratejilerinin Bursa ve Antalya kenti özelinde ortaya konmasıdır. Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyeleri tarafından gerçekleştirilen akıllı ulaşımaya yönelik strateji ve uygulamalar döküman analizi yöntemiyle incelenmiştir. Bursa ve Antalya kenti için gelecek ulaşım planlarının hazırlandığı, stratejik planlarda akıllı ulaşım stratejilerine yönelik hedeflerin belirlendiği ve kent içi ulaşımın teknoloji temelli sistemlerle izlendiği, değerlendirildiği ve alternatif ulaşım seçeneklerin planlanarak güncellemelerinin yapıldığı görülmektedir. Özellikle metropoliten alanlarda daha akıllı mekanlar ve sürdürülebilir çevre üretmek için kent içi ulaşımın günümüz teknolojisiyle nasıl bütünleştirilebileceği ortaya konmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı kent, akıllı ulaşım sistemleri, Bursa, Antalya

### Smart urban transportation trials of Bursa and Antalya

**Abstract:** Today, cities have a critical importance for human life. In the 1980s, neoliberal policies and the intensification of globalization triggered migration to urban areas and brought population increases. Especially metropolitan areas have spread uncontrollably in order to carry the increasing population. Unplanned and uncontrolled urban development has caused great problems in spatial, environmental and socio-economic areas. In order to find solutions to these problems faced by cities, new urban development approaches have come to the fore on the basis of sustainability and raising the quality of life. Smart city, which is one of these approaches; they are places where coordinated integration in information and communication networks is reflected in an innovative, efficient and sustainable way. This approach has a multi-component structure consisting of economy, people, governance, life, transportation and environment. The aim of the study is to reveal the smart transportation strategies, which is one of the smart city components, in the city of Bursa and Antalya. Strategies and applications for smart transportation carried out by Bursa and Antalya Metropolitan Municipalities were examined by document analysis method. It is seen that future transportation plans for the city of Bursa and Antalya are prepared, targets for smart transportation strategies are determined in strategic plans, urban transportation is monitored and evaluated with technology-based systems, and alternative transportation options are planned and updated. It is revealed how urban transportation can be integrated with today's technology in order to produce smarter spaces and sustainable environment, especially in metropolitan areas.

**Keywords:** Smart city, smart transportation systems, Bursa, Antalya

## 1. Giriş

Dijital endüstri devrimi ile kentler enerji, barınma, sağlık, eğitim gibi birçok değişime etki ettiği gibi ulaşım sistemleri ve ulaşım ağındaki dinamikleri de etkilemektedir (Cooper vd., 2012). Değişimin altında yatan bu maddi unsurların dışında, hem küresel hem de bölgesel düzeyde etkili olan iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı veya yakın gelecekte çıkaracağı etkiler, günümüz kentlerinin çok boyutlu bir şekilde ele alınması gerekliliğini gündeme getirmektedir. Karmaşık bir yapıyı içinde barındıran ve birçok sorunla başa çıkabilme yeteneğine ulaşabilmesi gereken kentsel sistem, yaşanan hızlı teknolojik gelişmeleri kendi bünyesine entegre etmekte ve daha akıllı bir düzeye erişebilme çabası içine girmektedir. Nesnelerin interneti, büyük ve açık veri, bulut bilişim ve veri madenciliği gibi teknolojiler kullanarak akıllı hale gelecek olan kentler, ekonomi, insan, yönetim, yaşam, hareketlilik (ulaşım) ve çevre gibi birçok bileşenin mevcut durumunu iyileştirme ve geliştirme yolunda farklı zorluklarla karşı karşıyadır. Akıllı kent olma yolundaki en kritik bileşen, kentlerin kronikleşen problemleri arasında bulunan ulaşım boyutudur. Akıllı kentlerin ulaşım sistemleri; yeşil ve peyzaja uygun, dirençli (dayanıklı), sürdürülebilir, rekabetçi, yenilikçi, yaşam kalitesini önceleyen, bilgiyi ve teknolojik gelişmeleri içeren bir kentsel altyapı sunmaktadır. Verimli ve doğaya saygılı enerji tüketimi, otomobil bağımlılığının azaltılması, toplu taşımanın yaygınlaştırılarak teşvik edilmesi, bisiklet yollarının varlığı ve etkinliği gibi stratejik adımlar, akıllı kentsel ulaşımın sağlanması için kent yönetimlerinin önünde duran kritik alanlardır.

Merkezi ve yerel yönetimlerin akıllı kent uygulamalarındaki ulaşım sistemlerine yönelik çabaları, gün geçtikçe artmaktadır. 2000'li yılların başında akademik alanda yapılan çalışmalarla birlikte gündeme gelen akıllı kent kavramı ve kentsel ulaşım ile ilgili uygulamalar, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT)'nin kent yönetimi alanında etkin şekilde kullanılmasını öngörmektedir (Şengül ve Altıntaş, 2020). Dünya'da akıllı ulaşım sistemleriyle ilgili uygulamalara bakıldığında Madrid'de tren, tramvay, otobüs ve otobüs durakları olmak üzere tüm toplu taşıma sistemleri ve bileşenleri, verilerin gerçek zamanlı olarak toplandığı merkezi bir kontrol odasına bağlıdır (Menouar vd., 2017). Hangzhou, Barcelona ve Singapur'da ise, akıllı ulaşım sistemi yapay zeka ile yönetilmektedir. Yapay zeka ve büyük veri analizinden yararlanarak, bütün araçlar takip edilebilmekte, video ve resim tanıma teknolojilerine dayalı gerçek zamanlı trafik önerileri ve seyahat güzergahları sunulabilmektedir (Örselli ve Akbay, 2019).

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak, akıllı ulaşım stratejilerinin Türkiye'de de 2000'li yıllardan itibaren ivme kazandığı, hem ulusal strateji belgelerinde hem de yerel yönetim uygulamalarında görülmektedir. Özellikle akıllı ulaşım stratejilerini, kent içi ulaşımında etkin olarak kullanan büyükşehirler arasında İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Antalya, Kocaeli ve Konya gibi kentler bulunmaktadır. Bu kentlerin yoğun nüfus gücü yerel yönetimlerin politikalarını da etkilemiş, akıllı belediyeçilik, akıllı kentler, akıllı ulaşım sistemleri gibi birçok paydaşı bir araya getiren yeni çalışma alanları geliştirilmiştir. Çalışmada, Bursa ve Antalya'nın akıllı kent dinamiği içerisinde ulaşım sistemlerinin kent yaşamına etkileri, yapılan uygulamalar ve hedeflenen akıllı ulaşım ağının dijital sistemlere entegrasyonu tartışmaya açılmaktadır. Bu doğrultuda ilk olarak, akıllı kent kavramı ve akıllı ulaşım stratejisine yer verilmiş, ardından Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyelerinin akıllı ulaşım sistemine yönelik faaliyet ve uygulamaları incelenmiştir.

## 2. Akıllı kent kavramı

Dünyanın dört bir yanındaki kentler zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Kentsel nüfustaki hızlı büyüme sosyal, teknik ve altyapı odaklı sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlar, bir şehrin yaşanabilir kılan unsurları üzerinde önemli işlevsellik kaybına yol açmaktadır (Gil-Garcia vd., 2015). Özellikle 2035'te tüm dünya metropollerindeki nüfusun 3,47 milyara ulaşacağı, 2050'de ise dünya nüfusunun %68'inin kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir (UN, 2019). Kentlerdeki bu denli hızlı nüfus baskısı, endüstriyel kirlilik, hava, su ve toprak kirliliği başta olmak üzere doğal kaynaklar üzerinde tehdit oluşturmaya devam etmektedir (Yang vd., 2022). Bu bağlamda, kentler ortaya çıkan teknik, fiziksel ve sosyal sorunları çözmek için yenilikçi düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır. Kentler özelindeki bu farkındalığın artması, hem yerel ve bölgesel hem de küresel ölçekte ilgiyi metropoliten alanlara kaydırmaktadır. Küresel anlamda merkezi ve yerel yönetimler tarafından kentlere olan yenilikçi politik bakış; verimlilik, etkililik, üretkenlik, şeffaflık ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli yönlerden daha akıllı

hale getirilmeye çalışılmaktadır. Özellikle 21. yüzyılda teknolojik gelişmenin getirdiği avantajlar, kentsel müdahale seçeneklerinin uygulanabilirliğini ve sorunlu alanlarda hızlı karar verme imkânını kolaylaştırmaktadır. Akıllılık temelinde kentlerin sürdürülebilirliği ve kentte yaşayanlar için yaşam kalitesinin artırılması pek çok modern kentsel gelişim yaklaşımını ortaya çıkarmaktadır. Literatürde, akıllı şehir, dijital şehir, bilgi şehri, kablolu şehir, elektronik şehir, yaratıcı şehir ve inovatif şehir bunlar arasında sayılabilir (Mohanty vd., 2016). Geleneksel yaklaşımlar daha çok beşeri sermaye ve fiziki altyapı üzerinde odaklanırken, bu modern yaklaşımlar kentlerin teknolojik yönlerini vurgulamaktadır. Akıllı kent fikri de geleneksel ve modern kentsel gelişim unsurlarının birçoğunu içerdiği için literatürde giderek daha fazla kullanım alanı bulmaktadır.

Akıllı kent kavramı, 1980'lerde yeni şehircilik hareketi bağlamındaki akıllı büyüme kavramından türetilmiştir. Birçok ülke ve bölgenin karşı karşıya kaldığı farklı ekonomik, coğrafi ve çevresel koşullar nedeniyle, akıllı kent anlayışında birleşik bir tanım yoktur. Pek çok akademisyen, akıllı kentin özelliklerini; yönetim, teknoloji, iletişim, ulaşım, nüfus, çevre vb. yönlerden açıklasa da, bu kavramlar subjektif ve tek taraflı olduğu için genel geçerlilik söz konusu olmamaktadır. Yaygın olarak kabul edilen akıllı kent çerçevesi, küresel kentleşmenin sorunlarını ve zorluklarını çözmek ve sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek için büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle akıllı kentlerin özelliklerini ve sorunlarını ele alabilmek için akıllı kent tanımının netleştirilmesi gerekmektedir (Huang vd., 2021). Albino ve arkadaşları (2015)'na göre akıllı kent, kentin kolektif zekâsından yararlanmak için fiziksel, sosyal, bilgi ve iletişim altyapısının birbirine bağlandığı yerlerdir. Ayrıca bu yerler, bilgi ve iletişim teknolojileri, lojistik, enerji üretimi vb. gibi yüksek teknolojilerin refah, katılım, çevresel kalite açısından vatandaşlara fayda sağlamak için işbirliği yaptığı iyi tanımlanmış coğrafi alanlardır (Appio vd., 2019). Avrupa Birliği akıllı kentleri, geleneksel hizmetlerin ve ağların istatistik ve telekomünikasyon teknolojileri kullanarak, özellikle kent içi ulaşım sistemlerini kullanacak olanların yararlanacağı şekilde daha verimli hale getirildiği yerler olarak belirtmektedir (Türkiye Bilişim Vakfı, 2016). OECD (2020)'ye göre akıllı kent, *“vatandaşların refahını artırmak ve işbirlikçi, çok paydaşlı bir sürecin parçası olarak daha verimli, sürdürülebilir ve kapsayıcı kentsel hizmetler ve ortamlar sunmak için dijitalleşmeden etkin bir şekilde yararlanan girişimler veya yaklaşımlar”* şeklinde ifade edilmektedir. Başka bir tanıma göre akıllı kent; planlama, inşa, yönetim ve kent hizmetlerini kolaylaştırmak için nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi yeni nesil bilgi teknolojilerinin uygulandığı bir modeldir (ISO/IEC, 2015). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2019), 2019-2022 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında akıllı kent kavramını; *“paydaşlar arası işbirliği ile hayata geçirilen, yeni teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanan, veri ve uzmanlığa dayalı olarak gerçekleştirilen ve gelecekteki problem ve ihtiyaçları öngörerek hayata değer katan çözümler üreten daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehir”* olarak belirtmiştir. Kısaca akıllı kent, sakinlerin yararına faaliyetleri geliştirmek için bilgi, dijital ve telekomünikasyon teknolojilerinin kullanılmasıyla geleneksel ağların ve hizmetlerin daha esnek, etkin ve sürdürülebilir hale dönüştürüldüğü yerlerdir (Mohanty vd., 2016).

Akıllı olmaya çabalayan kentler, belirlenen başarıya ulaşmak ve belirli stratejik planları takip etmek için somut adımlar atmaktadır. Bu adımların planlanmasına ve uygulama sürecinin izlenmesine yönelik farklı aşamalar yer almaktadır. Buna göre, 2019-2022 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı kapsamında *“ekonomi, eğitim, enerji, çevre, finans, yangın ve acil müdahale, yönetim, sağlık, rekreasyon, güvenlik, barınma, katı atık, telekomünikasyon ve yenilik, ulaşım, şehir planlama, atık su ve suyun yeniden kullanımı”* şeklinde 17 tane akıllı kent bileşeni tanımlanmıştır. Ayrıca, Avrupa Parlamentosu tarafından kullanılan akıllı kent temasında; akıllı ekonomi, akıllı insan, akıllı yönetim, akıllı yaşam, akıllı hareketlilik (ulaşım) ve akıllı çevreden oluşan 6 temel bileşene yer verilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019). Buna ilaveten, Avrupa Parlamentosu'nun tanımladığı akıllı kent fonksiyon alanları, dünyada kabul gören Stratejist Dr. Boyd Cohen tarafından akıllı kent çemberi olarak kurgulanmıştır (Url-1). Çalışmanın içeriğine uygunluğu bakımından akıllı kent bileşenlerinden birisi olan akıllı ulaşım konusu, hem kavramsal açıdan hem de Bursa ve Antalya kenti özelinde detaylı olarak irdelenmektedir.

## 2.1. Akıllı ulaşım stratejisi

Hızlı kentleşme kent içi trafik sıkışıklığı, kirlilik ve diğer kentsel sorunları derinleştirmektedir. Sınırlı ulaşım kaynakları ile insanların trafik talebi arasında bir çelişki bulunmaktadır. İnsanların yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte seyahat süresinin parasal değeri giderek artmakta ve özellikle yerel yönetimler tarafından kentsel ulaşım türlerinin çeşitlenmesi için yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Kentleşmenin beraberinde getirdiği zorluklara karşı, son yıllarda yapay zekânın hızlı gelişimi ve ulaşım sektörü ile derin entegrasyonu, akıllı ulaşım sisteminin inşası için yeni çözümler sağlamaktadır (Sun, 2021). Bu bakımdan akıllı ulaşım kavramı için, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kapsamında bütünleşmiş bir yapı olduğu söylenebilir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019). Akıllı kent bileşenleri içinde bulunan akıllı ulaşım sistemleri, güncel teknolojinin kullanıldığı aygıtlar aracılığıyla sürdürülebilir, dirençli, yeşili koruyan ve enerjiyi verimli kullanan yapılar ve donatılarla gerçekleştirilmektedir (Townsend, 2013). Akıllı ulaşım, araç kullanımına yönelik yeni sosyal davranışları teşvik ederek, vatandaşların yerel ve toplu taşımaya erişimini kolaylaştırmakta ve verimliliği artırmak için BİT'in yeniden entegre edilmesini sağlamaktadır. Bu özellik altında kentler ve belediyeler tarafından, şehir planlamasının akılcı kullanımı ile vatandaşların hareketlilik ihtiyaçlarının daha iyi karşılanması, bireysel ulaşımdan toplu ulaşım yöntemlerine geçilmesi, motorsuz ulaşım kullanımının teşvik edilmesi ve elektrikli araçların entegrasyonu gibi yaygın eylemler gerçekleştirilmektedir. Kısaca bu eylemlerin amacı, düşük çevresel etkilerle akıllı bir kentin verimli ulaşım imkanına sahip olmasını sağlamaktır (Colldahl vd., 2013).

Akıllı ulaşım sistemlerinin genel işlevi, bağımsız teknolojik uygulamalar yoluyla elde edilebilecek çok çeşitli teknikleri ve yaklaşımları kapsamaktadır. Akıllı ulaşım stratejileri trafik planlaması, kontrolü ve yönetimi için iyi bir bilgi yapısı elde etmek ve sistem etkinliğini artırmak için bir dizi bileşeni içermektedir (Mallik, 2014). Akıllı ulaşım bilgisi temelinde Sharma ve Awasthi (2022), akıllı ulaşım stratejilerine yönelik uygulamaları altı kategoride gruplandırmıştır. Bunlar:

1. Gelişmiş toplu taşıma sistemi,
2. Gelişmiş yolcu bilgi sistemi,
3. Gelişmiş trafik yönetim sistemi,
4. Otomatik karayolu sistemi,
5. Kaza yönetim sistemi,
6. Ticari araç kontrolü'dür.

Ülkemizde, etkin ve sürdürülebilir kent anlayışının ulaşım sistemlerine entegre edilmesi amacıyla, hem merkezi hem de yerel yönetimler tarafından çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda emisyon oranı düşük, zaman yönetimli bir seyahat planlaması ile güvenli ve birbirini kapsayan ulaşım sistemleri görülmektedir (Url-1). 10. Kalkınma Planı'nda, "*Kentiçi ulaşımında trafik yönetimi ve toplu taşıma hizmetlerinde bilgi teknolojileri ve akıllı ulaşım sistemlerinden etkin bir şekilde faydalanılacaktır*" ifadesine yer verilmiş, toplu taşıma gibi ulaşım araçlarının yerine bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması planlanmıştır (Kalkınma Bakanlığı, 2013). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 'Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı' araştırmasında, akıllı kentlerin ulaşım sistemlerine yönelik eylem planları (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019);

- Çevre dostu ulaşım araçları,
- Yeni nesil ulaşım modelleri,
- Acil durumlarda öncelikli araçlara hızlı ulaşım kolaylığı,
- Tüm kesimler için ulaşım erişilebilirliğinin yaygınlaşması,
- Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik altyapının geliştirilmesi gibi alanlarda yoğunlaşmıştır.

Akıllı kentlerin stratejik planlanmasında sürdürülebilir ulaşım, trafik güvenliği ve çevre dostu kalkınma öncelikli alanlar içinde yer almaktadır. Akıllı kentler ulaşım stratejilerini geliştirerek, sağlıklı ulaşım süreçlerini iyileştirmekte, seyahat hareketliliğini geliştirmekte ve çevreyi etkileyecek olumsuz her türlü etkeni en aza indirmektedir. Bu stratejik yaklaşım, sürdürülebilir ulaşım sistemlerine uygun, çağın dijital süreçlerine adapte olarak kent yaşamına önemli katkılar sağlamaktadır (Öztaş Karlı ve Çelikyay, 2022).

### 3. Materyal ve yöntem

Çalışma kapsamında, Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyelerinin akıllı ulaşım sistemlerine yönelik faaliyet ve projelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, ilgili büyükşehirlerin akıllı ulaşım sistemlerine yönelik yürüttüğü çalışmalar, belediyelerin stratejik planları ve yazılı materyallerden yararlanılarak ortaya konmuştur. Bursa ve Antalya kenti özelinde incelenen basılı ve elektronik temelli belgeler şu şekilde sıralanabilir: Akıllı Şehirler Beyaz Bülteni, Bursa 2020-2024 Stratejik Plan, Antalya 2020-2024 Stratejik Plan, Boğaziçi Proje A.Ş. tarafından hazırlanan Bursa Ulaşım Ana Planı 2035 ve Antalya Ulaşım Ana Planı 2040, Antalya Matchup Projesi, Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyelerinin resmi internet siteleri, Akıllı Şehirler resmi internet sitesi, konu içeriğine uygun makale ve tezlerdir.

Bu çalışma, nitel araştırma yöntemlerinden birisi olan doküman analizi kullanılarak ele alınmıştır. Belgesel tarama olarak da bilinen doküman analizi, basılı ve elektronik materyallerin incelenmesi ve değerlendirilmesini içine alan bir dizi işlemleri ifade etmektedir (Sak vd., 2021). Ayrıca bu analiz yöntemi, araştırılması hedeflenen olgu veya olgularla ilgili bilgi içeren yazılı materyallerin analizini içermektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2018). Araştırılan konuya yönelik literatür taramasını da içeren bu analiz, zaman ve bütçe bakımından tasarruf sağlarken, gözlem ve görüşme kayıtlarıyla da diğer belgelerin sistematikleştirilmesine katkı sunar. Ayrıca bu analiz yöntemi, incelenen olgu ve olayların önem derecesinin belirlenmesini, veri kaynaklarının tasnif edilmesini ve yeni veri setleri oluşturulmasını da kolaylaştırır (Baltacı, 2019).

Bu doğrultuda ilk olarak, Bursa ve Antalya kentlerinin büyükşehir belediyeleri tarafından akıllı ulaşım sistemlerine yönelik politik bakışı araştırılmıştır. İncelenen politikalar büyükşehir belediyelerinin resmi internet sitelerinden ve stratejik planlarından elde edilmiştir. Ayrıca, Boğaziçi A.Ş. tarafından Bursa ve Antalya kenti için tasarlanan gelecek ulaşım ana planlarından ve Akıllı Şehirler resmi internet sitesinde yer alan Bursa ve Antalya özelindeki proje içeriklerinden yararlanılmıştır. Akıllı ulaşım politikalarının Bursa ve Antalya kenti özelinde değerlendirilebilmesi için “akıllı kent bileşenleri, akıllı ulaşım sistemleri, AUS, kentsel ulaşım,” anahtar kelimeleri yazılı ve elektronik materyaller genelinde kullanılarak içerik analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda akıllı ulaşım sistemlerine yönelik uygulanan projeler derlenerek tablolandırılmış ve yorumlanmıştır.

### 4. Bulgular

Bursa ve Antalya kentindeki akıllı ulaşım sistemlerinin mevcut durumu ve uygulama alanları ile ilgili bulgular, paralel içerikler doğrultusunda ayrı başlıklar altında değerlendirilmektedir.

#### 4.1. Bursa kentinin akıllı ulaşım denemeleri

Sanayi ve turizmin yanında, hızlı göç dinamikleri ile çeşitli kentsel sorunlara çözümler arayan Türkiye'nin en büyük 4. kenti Bursa'da, büyükşehir ve merkez ilçeleri, sürdürülebilir akıllı kent yönetim stratejileri geliştirme konusunda farklı faaliyet ve projeleri hayata geçirmektedir.

Bursa Büyükşehir Belediyesi Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı bünyesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri, ARGE ve Akıllı Şehircilik Şube Müdürlükleri tanımlanmıştır. Bu birimler, diğer daire başkanlıkları ve birimlere bağlı diğer kurum ve kuruluşlarla akıllı kent çalışmalarını sürdürmektedir. Bunun yanında, ARGE Şube Müdürlüğü kapsamında kent ulaşımını hafifletecek yeni çalışmalar geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda uygulanan projelerden birisi de Akıllı Şehir Platformunun kurulması olmuştur. Bu platform sonucunda kentteki akıllı sistemlerin tek bir merkezde toplanması hedeflenmektedir. Platformun içeriğinde akıllı kent uygulamalarının tanıtımı yapılarak kenttaşların akıllı kent mekanizmalarına yönelik fikir ve önerileri değerlendirilmeye alınmaktadır. (Url-5). Bursa, akıllı kent olma yolunda küresel gelişmelere paralel bir yerel yönetim politikası geliştirmektedir. Özellikle Birleşik Krallık Refah Fonu “Geleceğin Şehirleri” başlıklı içeriğiyle Ocak 2018 tarihinden itibaren kentte çalışmalara başlamıştır. Projenin ilk bölümünde BM Habitat ile “Bursa Akıllı Şehir Projesi” ve “Bursa İçin Kentsel Dönüşüm Modeli” projelerini uygulama sahasına alacak proje içerikleri hazırlanmıştır. Bursa Büyükşehir Belediyesi, “Akıllı Şehir ve Ulaşım Sistemleri” odağında geleceğin kentini tasarlamıştır (Url-6).

Bursa Büyükşehir Belediyesi, TÜRKSAT ile birlikte Trafik Yönetim Merkezi'ni kurarak dünyada bir ilki gerçekleştirmesi açısından önemli bir çalışma yapmaktadır. Bu kapsamda, Bursa'daki önemli

görülen 35 kavşağa adaptif sistemin yerleştirilmesi ve 250 kavşağın uzaktan kontrolünün sağlanması hedeflenmiştir. Bu sistem, hareketli araç verisiyle kavşaklar arasındaki hız verilerini incelenmekte ve kavşaklar arası koordinasyon oluşturularak trafik akışını hızlandırmaktadır (Url-7). Bursa Büyükşehir Belediyesine bağlı Akıllı Şehircilik ve İnovasyon Dairesi Başkanlığı akıllı yol, kavşaklar, düzenli ray sistemleri ve toplu taşıma imkânları ile ulaşım altyapısını güçlendirmekte ve Bursa'nın akıllı ulaşım projeleriyle sürdürülebilir kalkınmasına hizmet etmektedir. Bu kapsamda, Bursa Büyükşehir Belediyesi Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Derneği (AUS Türkiye)'ne üye olmuştur (Fidan vd., 2019).

Bu açıklamalar ışığında, literatür taraması ve Bursa Büyükşehir Belediyesi resmi internet sitesinden yararlanılarak akıllı kent uygulama örnekleri derlenmiştir. Bursa kentinde uygulamaya konan akıllı kent projeleri arasında: e-belediye uygulamaları, CBS uygulaması, altyapı ruhsat denetim programı, üç boyutlu mobil turizm atlası, sevgi çipi, hafriyat takip sistemi, denetleme sistemleri, veri merkezi, halka açık kablosuz internet, lokasyon bazlı sms bilgilendirme, akıllı güvenlik uygulamaları, akıllı su yönetimi, akıllı aydınlatma uygulaması bulunmaktadır. Bu uygulamalara paralel olarak aşağıda, Bursa Büyükşehir Belediyesinin akıllı kent bileşenlerinden birisi olan kentsel ulaşım ve akıllı ulaşım sistemlerine yönelik stratejik adımları detaylandırılarak değerlendirilmektedir.

İlk olarak, Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 2020-2024 stratejik planı kentsel ulaşımında yaşanan sıkıntılar ve çözüm önerileri kapsamında ele alınmıştır. Planın 2. Amacı olarak belirtilen ulaşım yönetimi başlığı 4 hedef üzerinden detaylandırılmış (Bkz. Tablo 1) ve kentsel ulaşım uygulamalarının geliştirilmesinin önündeki risk ve tehditler belirlenmiştir. Bu bağlamda riskler; özel araç sahipliğinin hızlı artışı, yüksek maliyetli yatırımlarla ekonomik farklılıklardan olumsuz etkilenmesi, bakanlık onaylarında gecikmelerin yaşanması, dış paydaşlarla koordinasyon sorunlarının varlığı, kurumlar ve birimler arası iletişim eksikliği, akıllı ulaşım sistemi ekipmanlarının hızlı yenilenmesi nedeniyle maliyet ve entegre sorunları şeklinde belirtilmiştir. Mevcut tespitler ise, alt yapının yetersizliği nedeniyle trafik yoğunluğunun oluşması, yol ağı entegrasyonun eksikliği, bozulmuş kaldırım ve yolların varlığı, toplu taşıma araç sayısının yetersiz olması, belirsiz yatay ve düşey işaretlemelerin varlığı, trafik akışının tek merkezden yönetilememesi ve kavşaklarda bekleme sürelerinin fazlalığı olarak sınıflandırılmıştır. Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 2020-2024 stratejik planı çerçevesinde kentsel ulaşımın amaç ve hedefleri akıllı ulaşımı ön plana çıkarmış ve buna yönelik destekleyici hedefler belirlenmiştir.

**Tablo 1.** Bursa Büyükşehir Belediyesi 2020-2024 stratejik plan kapsamında kentsel ulaşım alanına yönelik amaç ve hedefler (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2020)

<b>2. Amaç</b>	Akıllı çözümlerle ulaşımı hızlı, güvenli ve konforlu hale getirmek,
<b>2.1. Hedef</b>	Ulaşım altyapısını geliştirmek,
<b>2.2. Hedef</b>	Toplu taşıma sistemini geliştirmek,
<b>2.3. Hedef</b>	Trafikte yol güvenliğini artırmak,
<b>2.4. Hedef</b>	Ulaşımı etkin yönetmek,

Tablo 1'de belirtilen kentsel ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve akıllı ulaşım sistemleri ile ulaşımı etkin yönetmek amacıyla ortaya konan bu hedefler, yukarıda belirtilen dezavantajlı alanları iyileştirmek ve geliştirmek için farklı faaliyet ve projeleri hayata geçirecek şekilde planlanmıştır. Bu doğrultuda, özellikle akıllı ulaşım sistemleri özelindeki bazı faaliyet ve projeler;

- Köprü yönetim sisteminin yapılması,
- Bursa hafif raylı sinyalizasyon sisteminin iyileştirilmesi,
- Kaza noktalarının belirlenmesi,
- Sinyal noktalarının oluşması,
- Trafik düşey (levha) ve yatay (çizgi) işaretleme yapılması,
- Mesaj entegrasyonu,
- Görüntü analizleri ile trafik analizi çalışmalarının belirlenmesi,
- Ulaşım yönetim merkezi kurulması şeklinde belirtilmiştir.



İkinci olarak, aşağıdaki Tablo 2’de Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilen akıllı ulaşım projeleri hakkında bilgiler derlenerek sunulmuştur.

**Tablo 2.** Bursa Büyükşehir Belediyesi akıllı ulaşım uygulama alanları (Fidan vd., 2002; Şahin ve Yılmaz, 2019; Url-2, Url-3, Url-8)

Uygulama Adı	Uygulama İçeriği
BURULAŞ Uygulaması	Mobil ve internet üzerinden kullanılan uygulama ile kullanıcılara toplu taşımaya ilişkin bilgilendirme sağlanmaktadır.
Levha Yönetim Programı	Levha işaretleme operasyonlarının takibi, mevcut saha çalışmalarına hızlı erişim, saha personeli ile yüksek düzeyde koordinasyon sağlanması için kullanılan programdır.
VMS (Video Mesaj Sistemi)	8 Adet VMS ile Bluetooth sensörleri tarafından üretilen seyahat süreleri ve ortalama hız verileri yol kullanıcılarıyla anlık olarak paylaşılmaktadır.
Trafik Ölçüm Sistemleri	16 Adet Bluetooth sensör ile noktadan noktaya seyahat süresi ve ortalama hız ölçümü yapılmaktadır.
Sinyalizasyon Sistemleri	Kent genelindeki 246 adet sinyalizasyon kavşak noktasında, 33 adet sabit süreli, 24 adet T1 öncelikli hat, 59 adet yeşil dalga sistemi ve 130 adet tam trafik uyarımalı kavşak yapısı bulunmaktadır.
Kavşak Gözlem Kameraları	66 adet kavşak gözlem kamerasıyla ana arterlerdeki anlık trafik durumu 7/24 takip edilmektedir.
Trafik Kontrol Merkezi	Bursa kent genelinde 246 adet sinyalizasyon kavşak noktası ve 217 adet bas-geç yaya sinyalizasyon tesisi olmak üzere toplamda 463 adet sinyalizasyon sistemini tek merkezde toplamaktadır.
Akıllı Kavşak Uygulamaları	Trafik düzenleme çalışmaları 25 noktada sinyalizasyon sistemi ile kavşaklar akıllı hale getirilmiştir.
Şehir ve Trafik Kameraları	Tek bir merkezden yönetilebilen ve trafik akışının gösterimi için de 40 adet canlı yayın kamerası bulunmaktadır.
Dedektörlü Kavşak Uygulaması	Bursa’da kent içi sinyalizasyon sistemine dâhil 55 adet dedektörlü kavşak yer almaktadır.
Yeşil Dalga Uygulaması	Uygulama ile ana yolların yakın aralıklarında yer alan trafik ışıklarında art arda kırmızı ışığa yakalanma engellenmektedir.
Akıllı Ulaşım Haritası	İnternet üzerinden erişilebilen uygulamada kentin ulaşım altyapısına ilişkin bilgiler yer almaktadır.
Değiştirilebilir Mesaj İşaret Uygulaması	Kent içerisinde yedi noktaya kurulan işaret panolarında trafik durumu ve sürücülere trafiğin durumu göz önüne alınarak alternatif yollar sunulmaktadır.
Bursa Cepte Uygulaması	Mobil uygulama ile kente ilişkin bilgilere, toplu taşıma durak ve güzergâhlarına, e-belediye hizmetlerine, dilek ve şikâyetlerin iletilebileceği Beyaz Masaya erişim sağlanmaktadır.
Aktif Araç Verileri	Trafikte ve karayolu ağında konumlarını paylaşan katılımcı araçlara dayalı bir veri hizmetidir.

Tablo 2’de görüldüğü gibi Bursa kentinde 15 adet akıllı ulaşım sistemlerine yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Akıllı kent bileşenlerini içeren, ulaşım odaklı içeriği birbirinden farklı bu projeler kentte aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle ‘Bursa Cepte’ uygulaması ile kent içi ulaşım sistemlerine, kentin yaşayanları kolayca erişim sağlayarak ulaşım hizmetinden yararlanmaktadır. Trafikte akıllı kavşak uygulamaları, aktif araç verilerine ulaşarak yol güzergâhlarındaki yoğunluğu belirlemekte ve kentin sürdürülebilir ulaşım ağına önemli ölçüde etki etmektedir. BURULAŞ A.Ş. kentin tüm ulaşım sistem ağını yöneten ve mobil ve internet aracılığıyla akıllı ulaşımı destekleyen bir kuruluş olarak, Bursa’nın ulaşım sisteminde itici bir güç oluşturmaktadır. Bu faaliyetlere ek olarak, kentin daha güvenli bir ulaşım sistemi için büyükşehir belediyesi tarafından dikkate alınan faaliyetler arasında; trafik sıkışıklığının giderilmesine yönelik müdahaleler, ulaşım temelli verilerin toplanması, sinyalizasyon sistemlerinin kurulması ve ulaşım hizmetlerine yönelik mobil uygulamaları yer

almaktadır. Bursa kenti, bu uygulamalar ile akıllı, sürdürülebilir, çağın dijital kodlarına entegre bir ulaşım sistemini kentin yaşayanlarına sunan bir akıllı kent konumunda olup, diğer kentlere de örnek teşkil edecek çalışmalar yapan kent yönetimlerine bir projeksiyon sunmaktadır.

Son olarak, Bursa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı tarafından Boğaziçi A.Ş.'ye hazırlatılan 2035 yılı Bursa Ulaşım Ana Planı hakkında bilgiler verilmiştir.

Kentsel ulaşım sistemlerinde 2035 yılını hedefleyen Bursa Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Ana Planı (BUAP) Revizyonu ve kentin sürdürülebilirliğine ilişkin acil eylem projeleri kapsamında ulaşımın sağlıklı gerçekleşmesine ilişkin öneriler, kentin ulaşım altyapısının yeniden düzenlenmesi, toplu taşıma sistemlerine öncelik verilerek kentte yaşanan sorunların nazım imar planı kararları kapsamında yeniden planlanması, toplu taşıma ulaşım sistemlerine olanak tanıyarak, kentin gelecek vizyonuna ilişkin “kısa, orta ve uzun dönemlerde uygulanacak çözüm önerileri” ile kentsel ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bursa kent tasarımına ve ulaşım sistemlerine uygun hedeflerle sürdürülebilir projeler üreten bir kenttir. Bursa kentinin ulaşım karakterini tanımlamasına yönelik yeni modeller kullanılmıştır. Planlanan ve üretilen projeler kapsamında mevcut ulaşım ihtiyacının belirlenmesi ve uygun modellerin gerçekleşmesine yönelik Bursa kentinde 21 adet farklı raylı sistem hat güzergâhı tasarlanmıştır. Kentin farklı 7 temel bölgesinde ulaşım sistemlerine yönelik modeller test edilmiş, alternatif ulaşım senaryoları belirlenmiştir. Bu modeller farklı ölçütlerle değerlendirilerek kentin yapısına en uygun senaryo belirlenmiştir (Url-4).



**Şekil 1.** 2030 Yılı Bursa Ulaşım Ana Planı (Url-4)

#### 4.2. Antalya kentinin akıllı ulaşım denemeleri

Türkiye'nin en büyük 5. kenti olan Antalya'da turizm, sanayi ve tarım sektörünün yoğun ekonomik işlevselliği, kentin gelişim sürecini önemli ölçüde etkilemiştir. Bu kentsel yayılım süreci, göç hareketlerini ve nüfus artışını artırarak kentsel sorunların derinleşmesini tetiklemiştir. Sürdürülebilir ve yaşanabilir mekânların oluşturulması hedefi doğrultusunda Antalya Büyükşehir Belediyesi ve merkez ilçeleri, sürdürülebilir akıllı kent yönetim stratejileri geliştirme konusunda farklı faaliyet ve projeleri hayata geçirmektedir.

Antalya kenti, akıllı kent alanında TÜRK SAT işbirliği ile çevreden sağlığa, ulaşımdan altyapıya kadar teknoloji çağının getirdiği olanaklar ile donatılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda, birçok özelliği bir arada bulunduran Antalya Akıllı Şehir Projesi, 2017 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından düzenlenen “Dünya CBS Günü” etkinliğinde, “Her Alanda Entegre Akıllı Şehir Uygulaması” ödülüne layık görülmüştür (Url-12). Ardından, Türkiye'nin en büyük akıllı kentsel dönüşüm projesine sahip olan Antalya, Ekolojik Akıllı Şehir vizyonunu uygulayan ilk kent olmuştur. Antalya'da ve Türkiye'de akıllı kentlerin artırılmasını destekleyen Ufuk 2020 Matchup projesi ile vatandaşların daha az enerji tüketen ve çevre dostu ulaşım taşıtlarına yönlendirilmesi, sürdürülebilir ulaşım sisteminin

geliştirilmesi için elektrikli taşıtların kullanım oranlarının yükseltilmesi, yakıt tasarrufu ve daha az emisyon ile çevreye duyarlı sürdürülebilir ulaşım sisteminin teşvik edilmesi amaçlanmıştır (Url-10).

Bu açıklamalar ışığında, literatür taraması ve Antalya Büyükşehir Belediyesi resmi internet sitesinden yararlanılarak akıllı kent uygulama örnekleri derlenmiştir. Antalya kentinde uygulamaya konan akıllı kent projeleri arasında: e-belediye uygulamaları, akıllı aydınlatma sistemi, güven çemberi projesi, şehir bilgilendirme ekranları (kiosklar), afet master planı, akıllı şehir projesi, Antalya Kaleiçi kültür ve turizm değerlerinin yerinde dijital dünya ile buluşturulması, sesli adımlar projesi, akıllı sulama sistemi, kronik hasta takibi, tarımda güneş enerjisi santralleri, Antalya stadyumu: elektrik üreten stadyum, katı atık geri dönüşüm ve bertaraf tesisleri ve Kepez Santral Mahallesi kentsel dönüşüm sahası akıllı şehir projeleri bulunmaktadır. Bu uygulamalara ek olarak aşağıda, Antalya Büyükşehir Belediyesinin akıllı kent bileşenlerinden birisi olan kentsel ulaşım ve akıllı ulaşım sistemlerine yönelik stratejik adımları detaylandırılarak değerlendirilmektedir.

İlk olarak, Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 2020-2024 Stratejik Plan'da kentsel ulaşımında yaşanan sıkıntılar ve çözüm önerileri ele alınmıştır. Planın 9. Amacı olarak belirtilen kentsel ulaşım başlığı 4 hedef üzerinden detaylandırılmış (Bkz. Tablo 3) ve kentsel ulaşım uygulamalarının geliştirilmesinin önündeki risk ve tehditler belirlenmiştir. Bu bağlamda riskler; bütçe ve kalifiye personel yetersizliği, makine ve ekipmanların eski olması, altyapı çalışmalarında süre aşımının yaşanması, mevcut yolların geniş olmaması, trafik yoğunluğu, doğal afetler ve paydaş fazlalığı gibi olumsuz durumlar üzerinden açıklanmıştır. Mevcut tespitler ise, toplu taşıma araçlarının yetersizliği, bireysel taşıt kullanımının artması, trafik akışını ana merkezden takip edecek sistemlerin yetersiz olması, engelli kullanımına uygun yaya yolları ve bisiklet ulaşımının geliştirilmesi için düzensiz mevcut yapılaşmanın varlığı, otoparkların yetersizliği, kamulaştırma sorunları ve kırsal bölgelerde çalışma alanlarının zorluğu şeklinde belirtilmiştir.

**Tablo 3.** Antalya Büyükşehir Belediyesi 2020-2024 stratejik plan kapsamında kentsel ulaşım alanına yönelik amaç ve hedefler (Antalya Büyükşehir Belediyesi, 2020)

<b>9. Amaç</b>	Kentsel ulaşım uygulamalarını geliştirmek,
<b>9.1. Hedef</b>	Toplu taşıma ve ara toplu taşıma sistemlerinde maksimum hizmet kalitesine erişmek,
<b>9.2. Hedef</b>	Kentsel ulaşım ağını makro ve mikro ölçekte bütüncül olarak planlamak ve yol ağını geliştirmek,
<b>9.3. Hedef</b>	Yeni yollar açmak ve mevcut yol ağlarını güvenli ve konforlu hale dönüştürmek,
<b>9.4. Hedef</b>	Kırsal bölgelerdeki yolların bakım ve onarımını gerçekleştirmek ve bu bölgelerde yeni yollar açarak kentsel ulaşımın kalitesini artırmak,

Tablo 3'te belirtilen kentsel ulaşımın geliştirilmesi amacıyla ortaya konan bu hedefler, yukarıda belirtilen dezavantajlı alanları iyileştirmek ve geliştirmek için farklı faaliyet ve projeleri hayata geçirecek şekilde planlanmıştır. Bu doğrultuda, özellikle akıllı ulaşım sistemleri özelindeki bazı faaliyet ve projeler;

- Ulaşım Ana Planı çalışmalarının yürütülmesi,
- Ulaşım etüd ve proje çalışmalarının gerçekleştirilmesi,
- Bütün ilçelerde yaya ve bisiklet yolları projesi,
- Trafik sinyalizasyon sistemlerinin kurulması, bakım ve onarım çalışmaları,
- Trafik güvenliği için yatay ve düşey trafik işaretleme çalışmaları,
- Elektronik denetleme sistemi ile ilgili çalışmaların yürütülmesi,
- Antalya Trafik İzleme ve Kontrol Merkezi (ATKOM)'nin kurulması,
- Engelli vatandaşların kent içi erişebilirliğinin kolaylaştırılmasına yönelik çalışmalar şeklindedir.

İkinci olarak, aşağıdaki Tablo 4'te Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilen akıllı ulaşım projeleri hakkında bilgiler derlenerek sunulmuştur.

**Tablo 4.** Antalya Büyükşehir Belediyesi akıllı ulaşım uygulama alanları (Antalya Büyükşehir Belediyesi, 2021; Kemeç ve Gül, 2021; Fural, 2019; Url-11; Url-12)

Uygulama Adı	Uygulama İçeriği
Akıllı Şehir Yönetim Platformu	Ücretsiz Wi-Fi, şehir bilgi ekranları, trafik kamera görüntüleri, kronik hasta takibi, panik butonu, akıllı aydınlatma ve akıllı sulama sistemlerinin bir merkez tarafından takip ve koordine edilmesini sağlamaktadır.
Elektronik Denetleme Sistemleri (EDS)	EDS kapsamında kırmızı ışık ihlal sistemi, hız koridor ihlal sistemi ve park ihlal sistemi bulunmaktadır.
Antalya Ulaşımında Temassız Ödeme Dönemi	Halkın yaşamını kolaylaştırmak için 2016 yılında başlatılan temassız kart ile ödeme yöntemi tüm toplu taşımada kullanılmaktadır.
Antbis Bisiklet Paylaşım Uygulaması	Bu uygulamada bisikletler, tek kullanımlık şifre doğrulaması ile mobil uygulama, abonman kartı, kredi kartı ve kent kart aracılığıyla sağlanmaktadır. Hesaba bakiye yükleyerek, bisiklet kiralama, iade etme ve ek süre isteme işlemleri mobil uygulama üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bisiklet taşıma aparatı olan otobüslere takılan sensörler ile bisiklet kullanıcılarına aparatın dolu veya boş olduğu hakkındaki bilgi mobil uygulama üzerinden aktarılmaktadır. Ayrıca, bisikletin otobüse yüklendiği tarih ve konumu, kaç kilometre taşındığı ile ilgili bilgiler harita tabanlı verilerle raporlaştırılmaktadır.
ChipBİS Mobil Uygulaması	Bu uygulamada, yapay zekâ teknolojisi kullanılarak trafik verileri anlık olarak işlenmekte ve trafik sinyal süreleri otomatik olarak belirlenmektedir. Kent içi trafik sıkışıklığını hafifletmek ve yakıt tasarrufu sağlamak için, İl Sağlık Müdürlüğü ve Laura Kavşağı pilot bölge olarak seçilmiştir.
Akıllı Kavşak Uygulaması	Camla çevrili olan durakların üzerinde güneş panelleri, iç kısmında ise klima ve 3 elektrik prizi bulunmaktadır. Durakların iç kısmında bulunan LED ekranlar, yolculara belediye hizmetleriyle ilgili bütün vatandaşlık bilgisine ve bölgenin coğrafyasıyla ilgili bilgiye ulaşabilme imkanı sağlamaktadır.
Akıllı Otobüs Durakları	Bir MatchUp projesi olan bu uygulama, kent içi trafiğini hafifletmek ve çevreye olumlu etki sağlamak amacıyla planlanmaktadır. Otobüsler çalıştıkları süre boyunca izlenecek ve verileri, kentsel platformlara entegre edilecektir.
Elektrikli Otobüs Kullanımı	Mobil uygulamada, vatandaşların hizmetlere daha kolay erişiminin sağlanması amacıyla, belediye tarafından sağlanan hizmetler, alınan önlemler ve projeler ile ilgili haberler bulunmaktadır. Toplu taşıma sistemlerine erişimi kolaylaştırmak için otobüs gidiş güzergâhları ve duraklarla ilgili bilgiler mobil uygulamada yer almaktadır.
Antalya Büyükşehir Belediyesi Mobil Uygulaması	Bu uygulama ile park olarak inşa edilen alanların alt katlarına otopark inşa edilmektedir. Böylece dar bir alan hem yeşil alan hem de otopark şeklinde kullanılarak akıllı arazi kullanımı yapılmaktadır.
Çevreci Otopark	

Tablo 4'te görüldüğü gibi Antalya kentinde 10 adet akıllı ulaşım sistemleri üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Antalya kenti, bu uygulamalar ile sürdürülebilir mekânlar oluşturma ve yaşam kalitesinin artırılmasında önemli bir katkı sağlamaktadır. Özellikle dijitalleşme ve teknolojik gelişmelerin yoğunlaştığı bir dönemde kentlerin daha akıllı, dirençli ve yaşanabilir kılınması için yerel yönetimler tarafından mevcut ulaşım ağlarının yenilenmesi ve yeni yapılacak ulaşım projelerinin hayata geçirilmesi, kentlerin stabil sistemlerini veri madenciliği ve dijital kodlarla aktive etmektedir. Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından akıllı ulaşım sistemlerine yönelik faaliyet ve projeler, hem yol güvenliğinden, zaman ve yakıt tasarrufuna hem de trafik sıkışıklığının giderilmesinden, alternatif ulaşım seçeneklerinin kullanılmasına kadar pek çok günlük hayatı rahatlatıcı etkiye sahiptir. Bu bağlamda, kentin sunduğu akıllı ulaşım sistemlerine yönelik çeşitli uygulamalar, diğer kentlere de örnek oluşturabilecek çalışmalar yapan kent yönetimlerine bir projeksiyon sunmaktadır.

Son olarak, Antalya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Dairesi Başkanlığı tarafından Boğaziçi A.Ş.'ye hazırlatılan 2040 yılı Antalya Ulaşım Ana Planı hakkında bilgiler sunulmuştur. Kentsel ulaşım sistemlerinde 2040 yılını hedefleyen Antalya Büyükşehir Belediyesi, kentin üst ve alt ölçekli plan kararlarını göz önünde bulundurarak, kent içi ulaşımın bugün ve gelecekteki durumunu ortaya koyabilmek ve alternatif ulaşım seçenekleri sunabilmek için çalışmalar yürütmektedir. Ulaşım ana plan ile kent içi ulaşımın eşgüdümle analiz edilmesi, toplu taşıma sistemlerine ve çevre dostu ulaşım biçimlerine öncelik verilerek ulaşım ve trafik sorunlarına çözüm getirilmesi amaçlanmıştır. 1/25.000 ölçekli Nazım İmar Planı çalışması ile eş zamanlı yürütülen bu planda, trafik bölgelerine ait demografik özellikler ve otomobil sahipliği ile ilgili gelecek tahminleri yapılmıştır. Buna ek olarak, 2040 hedef yılı doğrultusunda oluşan yolculuk talebini gidermek ve oluşabilecek problemlere çözüm bulmak için alternatif senaryolar üretilmiştir. 12 farklı toplu taşıma önerisi ve 4 alternatif senaryo değerlendirilmiş, ardından kentsel ulaşım için en uygun ana plan senaryosu geliştirilmiştir (Url-9).



Şekil 2. 2040 Yılı Antalya Ulaşım Ana Planı (Url-9)

## 5. Değerlendirme

Dünya nüfusunun kentsel alanlarda yoğunlaşması, kent içi ulaşım araçlarına olan talebin artmasına neden olmaktadır. Günümüzde etkisini gittikçe artıran küresel ısınma ve iklim değişikliği özellikle karbon emisyon oranının sınırlandırılması ve daha çevreci enerji tüketiminin tercih edilmesini zorunlu kılmaktadır. Küresel iklim değişikliği ve doğal afetlere karşı sürdürülebilirlik fikrinin kentsel alanlarda öneminin giderek artması, kentlerin mevcut ve gelecekteki gelişmelerinin yönünü etkilemektedir. Sürdürülebilir ve yaşanabilir mekanlar üretmek için karmaşık kentsel sistemlerin bir bütün olarak ele alınabilmesi, kentlerin dönüşüm sürecine bilginin, dijitalleşmenin, iletişimin ve veri madenciliğinin entegre edilmesine imkan tanımaktadır. Kontrolsüz yayılmış metropoliten alanlarda kentleşmenin getirdiği olumsuzluklarla başa çıkabilmek için bir fırsat sunan bilgi ve iletişim teknolojileri, kent sistemlerinin planlanmasını, kontrolünü, izlenmesini ve direncini kolaylaştırmaktadır. Bu bağlamda teknolojik temelli yeni kentsel yapılanma ve müdahaleler, kentlerin akıllı şekilde tepki vermesini sağlamaktadır. Küresel kentte ve özellikle kentin ulaşım sistemlerindeki teknolojik gelişmeler kent yönetimlerinde önemli bir yere sahiptir.

Akıllı ulaşım sistemleri, araçlardaki ve araçlarla sabit yerler arasındaki çeşitli navigasyon sistemlerini kapsayan bir akıllı kent bileşenidir. Akıllı ulaşım sistemleri sadece karayolu değil, hava ulaşımı ve demiryolu gibi diğer ulaşım sistemlerini de içine almaktadır. Bu bakımdan güvenli, düşük maliyetli ve hızlı rotalarla oluşturulmuş akıllı ulaşım seçenekleri yolcuların daha konforlu ve hızlı hizmet sağlamasına olanak tanımaktadır. Böylece, seyahat sürelerinin kısılması, kaza oranlarının düşmesi ve trafik akışının sekteye uğramadan sürdürülmesi için önümüzdeki yıllarda akıllı ulaşım sistemlerini

uygulayan kentlerin sayısının artacağı düşünülmektedir. Ülkemizde de özellikle yerel yönetimler tarafından kent içi ulaşımına yönelik çeşitli politika ve projeler geliştirilmektedir.

Bu çalışmada Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyelerinin yapmış olduğu akıllı ulaşım ile ilgili uygulama alanları, içerikleri ve yeni planlanan projeleri ele alınmıştır. Çalışmanın odağında, kent içi ulaşımın gerekliliklerine ilişkin farklı disiplinlerden gelen akademik literatür katkısı ve uygulamada gerçekleşen projelerin değerlendirilmesi yer almaktadır. Akıllı ulaşım sistemleriyle ilgili çalışma boyunca tartışmaya açılan konu, yoğun nüfus hareketlerinin yükünü hafifletecek, trafik sıkışıklıklarını giderecek dijital uygulamaların bu iki kent için de öncelikli yerel politikalarından biri olmasıdır.

Bursa ve Antalya kentinin ortak özelliklerinden birisi, iki kentin de yoğun göç hareketleri ve nüfus artışıyla karşı karşıya kalmasıdır. Bursa'nın sanayi kent kimliği ile Antalya'nın turizm kent kimliği, bu iki kente olan insan hareketliliğini ve toplumsal yoğunluğu beraberinde getirmektedir. Bursa ve Antalya kentlerinin farklı coğrafi bölgelerde bulunmasına rağmen, benzer değişim ve gelişim süreçlerinden geçtikleri ve akıllı ulaşım sistemlerine yönelik uygulamalarla çağın getirdiği dijital koşullara uyum sağlamaya çalıştıkları görülmektedir. Bu bağlamda Bursa, akıllı kent olma yolunda küresel gelişmelere paralel bir yerel yönetim politikası geliştirerek, akıllı ulaşım sistemlerini ön plana çıkaracak uygulamalarda bulunmaktadır. Bursa gibi Antalya kentinde de akıllı ulaşım sistemleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Sürdürülebilir akıllı ulaşım sisteminde Antalya kenti, Bursa kenti ile benzerlik göstererek ulaşım hakkına yönelik yeni uygulama sahalarını hayata geçirmiştir. Dijital kent formlarının yoğun görüldüğü her iki kentte de akıllı ulaşım sistemlerine yönelik enerji tasarrufu ve yol güvenliğine ilişkin trafik sıkışıklığını ortadan kaldıran uygulamalar gündelik yaşamı olumlu etkilemektedir. Bursa ve Antalya Büyükşehir Belediyeleri tarafından ortaya konan stratejik planlar, kentsel ulaşım standartlarının yükseltilmesi için yol güvenliği, trafik izleme ve denetleme, simülasyon sistemi, toplu taşıma, bisiklet yolu projeleri, hafif raylı sistemlerin iyileştirilmesi, ulaşım altyapısının geliştirilmesi ve ulaşım koordinasyon merkezinin kurulması gibi bazı benzer hedef, faaliyet ve projeleri içermektedir.

Her iki kentin stratejik planlarında vurgulanan akıllı ulaşım sistemlerine yönelik belirlenen hedef, faaliyet ve projeler, benzer ve/veya farklı uygulama örnekleriyle pratikleştirilmektedir. Bursa ve Antalya kentinde akıllı ulaşım sistemlerine yönelik uygulama alanı bulan benzer projeler; kentsel hizmetlere yönelik mobil uygulamalar, yeşil dalga sistemleri, akıllı kavşaklar, şehir ve trafik kameraları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak, Bursa ve Antalya kentlerindeki yerel yönetim birimleri, kendilerine özgü daha spesifik akıllı ulaşım sistemlerine yönelik projeleri de hayata geçirmektedir. Bursa kentine özgü akıllı ulaşım uygulama örnekleri; levha yönetim programı, akıllı ulaşım haritası, trafik yoğunluğuna göre alternatif güzergah imkanı, detektörlü kavşak uygulaması ve trafik ölçüm sistemleri iken, Antalya kentinde ise; bisiklet kullanım hizmetleri, bisiklet taşıma aparatı olan otobüsler, akıllı otobüs durakları, elektrikli otobüs kullanımı ve çevreci otoparktır. Bahsi geçen kentler özelinde uygulamaya konan bu spesifik proje örnekleri, Bursa ve Antalya kentlerine akıllı ulaşım stratejileri açısından ileriye dönük politika alanı oluşturabilme imkanı sunmaktadır. Ayrıca, Boğaziçi A.Ş. tarafından her iki kentin ulaşımıyla ilgili gelecek projeksiyonu hazırlanmıştır. Bu ulaşım ana planlarında kentlerin nazım imar planları göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir ve sağlıklı bir ulaşım altyapısına yönelik çalışmalar ele alınmıştır. Bu doğrultuda, toplu taşıma, raylı sistemler ve çevre dostu ulaşım biçimlerinin öncelikli hale getirildiği alternatif ulaşım senaryoları geliştirilmiş ve kent içi ulaşım sorunlarının giderilmesi amaçlanmıştır.

## 6. Sonuç

Türkiye'nin göç hareketleri, nüfus artışı, istihdam olanağı ve otomobil sahipliği bakımından önemli bir paya sahip olan kentleri arasında Bursa ve Antalya vardır. Çalışma kapsamında ele alınan Bursa ve Antalya kentlerindeki akıllı ulaşım sistemlerine yönelik uygulama ve projeler değerlendirildiğinde;

- Yerel yönetimlerin akıllı ulaşımına yönelik projeler geliştirme konusunda etkinliği,
- Stratejik planlarda akıllı ulaşım temasına detaylı olarak yer verilmesi,
- Kent içi ulaşım ile ilgili mobil uygulamalar,
- Trafik kontrol mekanizmalarının varlığı,
- Gelecekte kentsel gelişimin yönüne göre hazırlanmış alternatif senaryolu ulaşım ana planları,

- Akıllı ulaşım için sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım araçlarının gerekliliği, konularında her iki kentin birbiriyle paralellik gösterdiği,
- Trafik yoğunluğuna karşı alternatif güzergah sunma durumu,
- Çevre dostu otopark ve toplu taşıma,
- Bisiklet kullanımı için mevcut güzergah varlığı,
- Teknolojik imkânlar kullanarak otobüs duraklarının konforlu hale dönüştürülmesi alanlarında ise farklılık olduğu görülmüştür.

Bu kentlere yönelik sürdürülebilir ve sağlıklı bir kentsel yaşam için özellikle yerel yönetimler ve ilgili birimler tarafından teknoloji temelli çevre dostu kent içi ulaşım alternatifleri oluşturmak ve toplu taşımaya erişimin kolaylaştırılması Bursa ve Antalya'nın yönünü belirleyecektir. Bu değerlendirmeler ışığında, kent içi ulaşım üzerindeki artan baskıya karşı Bursa ve Antalya kentleri, dijital kod ve güncel yazılımlarla ulaşım sistemlerinin yükünü hafifletecek alternatif çalışmaları; düşük emisyon, dirençlilik, sürdürülebilir çevre ve yaşam kalitesinin artırılması gibi kritik temalar üzerinden daha fazla vurgulanmalıdır. Bu çevre dostu yaklaşımın teknoloji temelli bilgiyle bütünleştirilip kent içi ulaşımına kanalize edilme durumu, kentlerin akıllı ulaşım sistemlerini geliştirme ve uygulama konusunda güçleneceğini göstermektedir.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### **Destek ve teşekkür beyanı**

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

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

### **Kaynakça**

**Albino, V., Berardi, U. & Rosa Maria Dangelico, R.M.** (2015). Smart cities: definitions, dimensions, and performance. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21.

**Antalya Büyükşehir Belediyesi.** (2020). 2020-2024 Stratejik Plan. Erişim: 23 Ocak 2023. [https://www.antalya.bel.tr/Content/UserFiles/Files/Raporlar%2FStratejikPlan%2F2020-2024\\_Stratejik\\_Plan.pdf](https://www.antalya.bel.tr/Content/UserFiles/Files/Raporlar%2FStratejikPlan%2F2020-2024_Stratejik_Plan.pdf)

**Antalya Büyükşehir Belediyesi.** (2021). Bisiklet taşıma aparatlı otobüslere sensör uygulaması. Erişim: 25 Ocak 2023. <https://www.antalya.bel.tr/Haberler/HaberDetay/3184/bisiklet-tasima-aparatli-otobuslere-sensor-uygulamasi>

**Appioa, F.P., Lima, M. & Paroutis, S.** (2019). Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges. *Technological Forecasting & Social Change*, 142, 1-14.

**Baltacı, A.** (2019). Nitel Araştırma Süreci: Nitel Bir Araştırma Nasıl Yapılır?. *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 368-388.

**Bursa Büyükşehir Belediyesi.** (2020). 2020-2024 Stratejik Plan. Erişim: 29 Ocak 2023. [https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/yayinlar/191011104504\\_0.0.0.BBB-2020-2024-Stratejik-Plani.pdf](https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/yayinlar/191011104504_0.0.0.BBB-2020-2024-Stratejik-Plani.pdf)

**Colldahl, C., Frey, S. & Kelemen, E.J.** (2013). Smart Cities: Strategic Sustainable Development for an Urban World. School of Engineering - Blekinge Institute of Technology. Master's Degree Thesis, Karlskrona. Sweden.

**Cooper, D., Xiong, Z., Sheng, H. & Rong, W.** (2012). Intelligent Transportation Systems For Smart Cities: A Progress Review. *Science China Information Sciences*, 55(12), 2908-2914.

**Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2019). 2020-2023 Ulusal akıllı şehirler stratejisi ve eylem planı. Erişim: 18 Ocak 2023. <https://akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>

**Fidan, N.A., Karadeniz, A. & Gelişen, G.** (2022). Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım Sistemleri Yönetimi Bursa Şehri İncelemesi. *2 nd International Congress of Engineering and Natural Sciences Studies (ICENSS-2022)*. Ankara, 32-39, May 07.09.2022.

**Fural, M.** (2019). Antalya Büyükşehir Belediyesi'nde Akıllı Kent Uygulamaları. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir.

**Gil-Garciaa, J.R., Pardo, T.A. & Nam, T.** (2015). What makes a city smart? Identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization. *Information Polity*, 20, 61-87.

**Huang, K., Luo, W., Zhang, W. & Li, J.** (2021). Characteristics and Problems of Smart City Development in China. *Smart Cities*, 4, 1403–1419.

**ISO/IEC.** (2015). Smart Cities - Preliminary Report 2014. ISO. Published in Switzerland. Erişim: 13 Ocak 2023.  
[https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/developing\\_standards/docs/en/smart\\_cities\\_report-jtcl.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/developing_standards/docs/en/smart_cities_report-jtcl.pdf)

**Kalkınma Bakanlığı.** (2013). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018. Erişim: 18 Ocak 2023.  
[https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu\\_Kalkinma\\_Plani-2014-2018.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf)

**Kemeç, A. & Gül, H.** (2021). Antalya Büyükşehir Belediyesi Örneğinde Akıllı Kent Uygulamaları. *Kamu Yönetimi ve Politikaları Dergisi*, 3(2), 355-382.

**Mallik, S.** (2014). Intelligent Transportation System. *International Journal of Civil Engineering Research*, 5(4), 367-372.

**Menour, H. Güvenç, İ. Akkaya, K. Uluğaç, S. Kadri, A. & Tuncer, A.** (2017). UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, Digital Object Identifier: 10.1109/MCOM.2017.1600238CM

**Mohanty, P. S., Choppali, U. & Kougiyanos, E.** (2016). Everything You Wanted to Know About Smart Cities. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60-70.

**OECD.** (2020). Smart Cities and Inclusive Growth. Erişim: 19 Ocak 2023.  
[https://www.oecd.org/cfe/cities/OECD\\_Policy\\_Paper\\_Smart\\_Cities\\_and\\_Inclusive\\_Growth.pdf](https://www.oecd.org/cfe/cities/OECD_Policy_Paper_Smart_Cities_and_Inclusive_Growth.pdf)

**Örselli, E. & Akbay, C.** (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(1), 228-241.

**Öztaş Karlı, R.K & Çelikyay, S.** (2022). Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) üzerine Türkiye'deki politikaların araştırılması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5(2), 1-14.

**Sak, R., Şahin Sak, İ. T., Öneren Şendil, Ç. & Nas, E.** (2021). Bir araştırma yöntemi olarak doküman analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1), 227-250.

**Sharma, S. & Awasthi, S.K.** (2022). Introduction to intelligent transportation system: overview, classification based on physical architecture, and challenges. *Int. J. Sensor Networks*, 38(4), 215-240.

**Sun, N.** (2021). Intelligent Transportation System Planning in the Age of Artificial Intelligence. International Conference on Environmental and Engineering Management (EEM 2021), *E3S Web of Conferences*, 253, 1-5.

**Şahin, A. & Yılmaz, F.H.** (2019). Akıllı Kent Uygulamaları: Stockholm ve Bursa Üzerinden Bir Değerlendirme. *Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(43), 2987-2915.

**Şengül R. & Altıntaş, Y.** (2020). Akıllı Kentin Bir Bileşeni Olarak Akıllı Ulaşım Uygulamalarının İncelenmesi: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Örneği. *Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(2), 487-502.

**Townsend, A.M.** (2013). Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and The Quest for a New Utopia. WW Norton & Company.



**Türkiye Bilişim Vakfı. (2016).** Türkiye Akıllı Şehirler Değerlendirme Raporu. Erişim: 20 Şubat 2023. <http://www.novusens.com/turkiye-akilli-sehirler-hazirlik-degerlendirme-raporu/>

**UN. (2019).** Our world is growing older: UN DESA releases new report on ageing. Erişim: 13 Şubat 2023. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population>

**Yang, Z. Zou, L. Xia, J. Qiao, Y. Bai, F. & Wang, Q. (2022).** Spatiotemporal variation characteristics and source identification of water pollution: Insights from urban water system. *Ecological Indicators*, (139), 1-12.

**Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2018).** Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri. Seçkin Yayıncılık. 11. Baskı. Ankara.

**Url-1** <<https://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/akillisehirler/>> , erişim tarihi 19.02.2023.

**Url-2** <<https://www.akillisehirler.gov.tr/basarili-ornekler-bursa/>>, erişim tarihi 30.01.2023.

**Url-3** <<https://www.akillisehir.com/idet/11/675/bursa>>, erişim tarihi 30.01.2023.

**Url-4** <<https://www.bogaziciproje.com.tr/projelerimiz/bursa-ulasim-ana-plani-2035>>, erişim tarihi 29.01.2023.

**Url-5** <<https://www.bursa.bel.tr/haber/akilli-sehircilige-kurumsal-kimlik-27669>>, erişim tarihi 12.02.2023.

**Url-6** <<https://akillisehir.bursa.bel.tr/project/gelecegin-sehirleri-programi/>>, erişim tarihi 28.01.2023.

**Url-7** <<https://www.bursa.bel.tr/haber/trafik-yonetiminde-dunyada-bir-ilk-32525>>, erişim tarihi 27.01.2023.

**Url-8** <<http://akillisehir.bursa.bel.tr/yesil-dalga-sistemi-3/57/>>, erişim tarihi 27.01.2023.

**Url-9** <<https://www.bogaziciproje.com.tr/projelerimiz/antalya-ulasim-ana-plani-2040>>, erişim tarihi 27.01.2023.

**Url-10** <<https://www.akillisehirler.gov.tr/proje-envanteri/antalya-matchup-projesi/>>, erişim tarihi 25.01.2023.

**Url-11** <<https://www.akillisehirler.gov.tr/basarili-ornekler-antalya/>>, erişim tarihi 24.01.2023.

**Url-12** <<https://www.akillisehir.com/idet/11/674/antalya>>, erişim tarihi 24.01.2023.

## Araştırma Makalesi

# Demiryolu araçlarında amortisör arızalarının sürüş konforu üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Haluk YILMAZ<sup>1,\*</sup>, İbrahim KOCABAŞ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

\*Correspondence: [halukyilmaz@eskisehir.edu.tr](mailto:halukyilmaz@eskisehir.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1191605

**Özet:** Bu çalışmada iki boji ve sekiz dingile sahip bir raylı sistem aracının dikey yöndeki dinamik karakteri incelenmiştir. Birincil ve ikincil süspansiyon sistemlerinde yer alan viskoz damperlerin ayrı ayrı arıza durumları dikkate alınmıştır. Her bir arıza durumunda araç gövdesinde meydana gelen frekans cevapları incelenerek sürüş konforu ve seyir güvenliği açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Raylı sistem aracının 60 km/s sabit seyir hızı dikkate alınarak 10 mm derinliğinde lokal bir ray çökmesi üzerindeki dinamik tepkileri incelenmiştir. Araç gövdesinin 10 serbestlik dereceli dinamik modeli oluşturulmuştur. Elde edilen denklemler Simulink paket programında blok diyagramları oluşturularak Runge-Kutta (Ode45) tekniği ile nümerik olarak çözülmüştür. Araç gövdesinin dikey ve açısall yöndeki frekans cevapları alınarak ivme değerleri hesaplanmıştır. Benzer şekilde spektral güç yoğunluğu fonksiyonları da elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda damper arızalarının sürüş konforunu bozucu etkiler ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Boji 1 ve 2'nin birinci damper arızaları titreşim genliklerini arttırdığından dolayı kritik olarak değerlendirilmiştir. Birincil süspansiyon sistemindeki damper arızalarının kritik olduğu ve ikincil süspansiyon sistemindekilerinin ise sürüş konforunu önemli ölçüde değiştirmedığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Araç dinamiği, titreşim, süspansiyon sistemi, sürüş konforu, ray düzensizliği

## Influence of damper failures of a railway vehicle on the ride comfort

**Abstract:** In this study, the vertical dynamic behavior of a rail vehicle with two bogies and eight axles was investigated. Individual failure scenarios of viscous dampers in primary and secondary suspension systems are simulated. Frequency responses of the vehicle body in case of each failure scenario were examined and evaluations were made in terms of ride comfort and cruise safety. Dynamic responses of the rail vehicle on a local rail irregularity of 10 mm in depth, considering a constant travel speed of 60 km/h, were investigated. A dynamic model of the vehicle body with 10 degrees of freedom was created. The resulting equations were solved numerically through Runge-Kutta (Ode45) technique by constructing a block diagram in the Simulink package program. The acceleration values were calculated utilizing the frequency responses of the vehicle body in the vertical and angular directions. Similarly, power spectral density (PSD) functions were obtained. From the results obtained, it has been determined that viscous damper failures cause adverse effects on ride comfort. The first damper failures of bogies 1 and 2 were considered critical due to increasing vibration amplitudes. It has been concluded that the damper failures in the primary suspension system are critical and those in the secondary suspension system do not significantly change the ride comfort.

**Keywords:** Vehicle dynamics, vibration, suspension system, ride comfort, rail irregularity

## 1. Giriş

Demiryolu taşımacılığı düşük karbon emisyonu, yüksek yolcu ve yük kapasitesi ve yüksek hız gibi önemli avantajlara sahip olmasından dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılan taşıma modlarının başında gelmektedir. Buna rağmen; teker ray etkileşimi, süspansiyon sistemi arızaları ve yol altyapı kusurları gibi faktörlerin ortaya çıkarabileceği geometrik hat düzensizlikleri istenmeyen titreşimlere yol açarak yolcu konforu ve sürüş güvenliği üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. İlâveten, bu titreşimlerden ortaya çıkan gürültü ve seslerin yolcuların psikolojik sağlığı üzerinde olumsuz etkiler bıraktığı tespit edilmiştir (Lei vd., 2020). Bu titreşimler genellikle süspansiyon sistemi, ray olukları, genel palet dalgalanmaları, tekerlek düzlükleri, tekerlek yüzeyi düzensizlikleri ve çeşitli karmaşık rastgele faktörlerden kaynaklanan düzensiz tekerlek ve ray profilleri gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır (Shenk vd., 2004, Tao vd., 2019). Özellikle, süspansiyon sistemleri sürüş dinamiği ve konforu üzerinde anahtar bir bileşendir ve optimum şartlarda çalışması demiryolu aracının sürüş stabilitesini iyileştirir ve taşınan yolcu/yük entegrasyonunu sağlaması açısından önemlidir (Yang vd. 2015). Dolayısıyla süspansiyon sistemi elemanlarının optimizasyonu için birçok çalışma yapılmıştır. Hao vd., (2006) bir yolcu treninin dikey süspansiyon sistemi elemanlarını değerlendirme fonksiyonu metodu kullanarak optimize etmiştir. Benzer şekilde Nejlaoui vd., (2013) düşük yarıçaplı kurp üzerinde çeyrek araç modeli kullanarak süspansiyon sistemi parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Bunların yanında Thoresson vd., (2009) Genetik Algoritma ve Monte Carlo simülasyonu metotlarını birleştirerek hem süspansiyon sistemi bileşenlerini hem de dinamik analiz verimliliğini optimum hale getirmeye çalışmıştır.

Sürüş konforu ve seyir güvenliğini etkileyen diğer önemli parametrelerden biri de ray düzensizlikleridir. Özellikle yüksek hızlı demiryolu araçlarında ray düzensizlikleri aracın dinamik karakteri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Youcef vd., 2012). Bu sebeple süspansiyon sisteminin dinamik davranışları incelenirken ray düzensizlikleri de genellikle dikkate alınmaktadır. Ray düzensizlikleri analitik modellerde genellikle sinüs dalgası olarak modellenmektedir. Ancak numerik çözümlerde rastgele veya düzensiz modeller kullanılması mümkün hale gelmektedir. Raylı sistem araçlarında süspansiyon sistemlerinin dinamik davranışlarında ray düzensizliklerinin etkilerini araştıran önemli çalışmalar mevcuttur. Örneğin, rastgele düzensizlikler güç spektral yoğunluğu (PSD) fonksiyonları ile istatistiksel olarak karakterize edilebilmektedir (Au vd. 2002, Majka vd., 2009). Bu sayede rastgele düzensizlikler farklı frekanslarda trigonometrik fonksiyonların toplamları şeklinde ifade edilerek analitik çözümler mümkün hale gelmektedir. Birçok farklı faktöre bağlı olarak çok çeşitli ray düzensizlikleri olmasına karşın, Xu vd., (2017) bunların arasından hat ondülasyonlarının geniş frekans aralığına sahip önemli bir titreşim kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Bunların yanı sıra lokal ray çökmeleri sıklıkla karşılaşılan ray düzensizlikleri arasında yer almaktadır. Bu tipteki düzensizlikler seyir halindeki demiryolu aracında basamak fonksiyonu girdisi olarak titreşim kaynağı oluşturmaktadır. Etki süresi çok kısa olmasına karşın tekerleklere aracın seyir hızına bağlı olarak farklı zaman dilimlerinde etki etmektedir ve aracın dinamik karakteri üzerinde kompleks titreşim cevapları meydana getirmektedir (Zboinski ve Golofit-Stawinska, 2022).

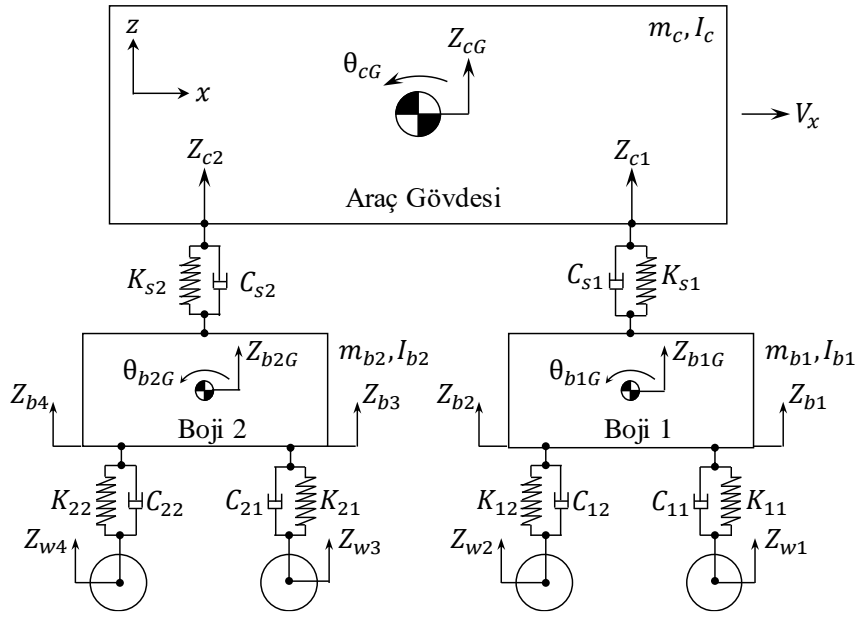
Demiryolu yolcu araçlarında iki kademeli süspansiyon sistemi mevcuttur. Bunlardan birisi boji ile tekerlek seti arasında diğeri ise boji ile araç gövdesi arasında konumlanmaktadır. Dolayısıyla süspansiyon sistemlerinde yer alan yay ve damper sabitleri aracın dinamik karakterini büyük ölçüde belirlemektedir. Süspansiyon sistemi bileşenleri hem üretim toleranslarından ötürü hem de servis sırasında zamanla belirli oranlarda değişmektedir. Yang vd., (2014) tarafından yapılan bir araştırmada süspansiyon sistemi bileşenlerinin toleransları incelenmiş olup yolcu konforu ve seyir güvenliği üzerinde önemli bir role sahip olduğu vurgulanmıştır.

Bu çalışmada, servis sırasında birincil veya ikincil süspansiyon sisteminin herhangi bir bileşeninde meydana gelebilecek bir arızanın yolcu konforu ve seyir güvenliği üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada dört adet dingile sahip bir yolcu vagonunun dikey dinamik tepkisi ele alınmıştır. Belirli bir seyir hızında lokal çökme şeklinde ortaya çıkan bir ray düzensizliğinin yolcu konforu ve aracın dinamik karakteri üzerinde ortaya çıkaracağı etkilerin araştırılması hedeflenmektedir. Ulaşılabilir literatürde süspansiyon sistemi arızaları ile ilgili çalışmalara çok fazla yer verilmediği anlaşılmaktadır. Genellikle ray ve tekerlek düzensizliklerinin ortaya çıkardığı dinamik tepkiler, sürüş konforu ve seyir güvenliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada ise lokal bir ray düzensizliği

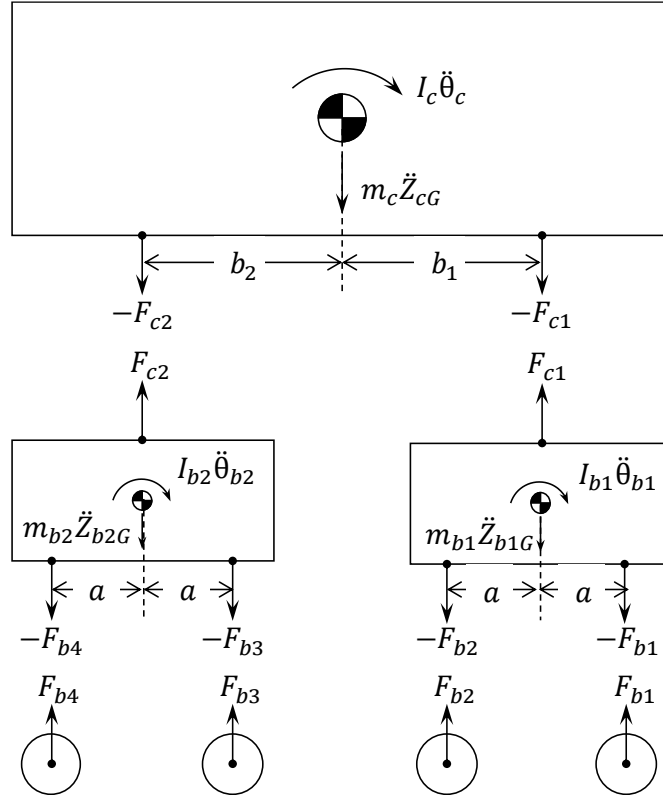
referans alınarak süspansiyon sistemi ekipmanlarında ortaya çıkabilecek bir arızanın aracın yolcu konforu üzerinde meydana getireceği etkilerin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu yönüyle yapılan çalışmanın mevcut literatüre önemli bir katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

## 2. Malzeme metot

Çalışmada iki adet bojiye ve dört adet dingile sahip bir yolcu vagonu incelenmektedir. Trenin dikey yöndeki dinamik modeli kütle, yay ve damper sistemleri ile modellenmektedir. Şekil 1’de incelenen yolcu vagonunun ve bileşenlerinin kinematik diyagramı verilmiştir. Trenin sabit seyir hızı  $V_x$  olarak ifade edilmekte olup 60 km/s olarak alınmıştır. Yolcu treni araç gövdesi, Boji 1 ve Boji 2 olmak üzere iki adet boji, dört adet tekerlek seti ve süspansiyon sistemi elemanları olan yay ve damperlerden oluşmaktadır. Şekil 2’de ise süspansiyon sistemi elemanlarından ötürü meydana gelen bağ kuvvetleri, atalet kuvvetleri ve momentleri kinetik diyagram olarak verilmiştir.



Şekil 1. Yolcu vagonunun dikey yönde 10 serbestlik dereceli dinamik modeli.



Şekil 2. Raylı sistem aracı bileşenlerinin etkileşim kuvvetleri.

Araç gövdesinin kütlesi  $m_c$ , kütsel atalet momentini  $I_c$ , ağırlık merkezinin dikey deplasmanı  $Z_{cG}$  ve ağırlık merkezi etrafında dönme hareketi  $\theta_{cG}$  olarak ifade edilmiştir. Benzer şekilde Boji 1 ve 2'nin kütleleri  $m_{b1, b2}$ , kütsel atalet momentleri  $I_{b1, b2}$ , dikey deplasmanları  $Z_{b1G, b2G}$  ve açısal hareketleri ise  $\theta_{b1G, b2G}$  olarak ifade edilmiştir. Bojilere bağlı olan dört adet tekerlek seti vardır ve bunların ray ile sürekli olarak temasını koruduğu varsayılmaktadır. Lokal bir ray çökmesi durumunda tekerlek setleri aracın seyir hızına bağlı olarak belirli aralıklarla dikey yönde deplasmanlara maruz kalacaktır. Bu durumda her bir tekerlek setinin dikey yönlü deplasmanı  $Z_{w1, w2, w3, w4}$  olarak zamana bağlı bir basamak girişi şeklinde ifade edilmiştir. Burada tekerlek setleri ile bojiler Şekil 1'de gösterildiği gibi birincil süspansiyon sistemi ile bağlanmaktadır. Benzer şekilde boji ile araç gövdesi ise ikincil süspansiyon sistemi ile bağlanmaktadır. Dolayısıyla ray düzensizliği sebebiyle ortaya çıkan dikey yönlü deplasmanlar birincil ve ikincil süspansiyon sistemi elemanları olan yay ve damperler vasıtasıyla araç bileşenlerine iletilecektir. Araç süspansiyon sisteminde yer alan yayların rijitliğinin sabit olduğu (deformasyona göre değişmediği) ve damperlerin viskoz damper özelliği taşıdığı varsayılmıştır. Bunun yanında aracın dikey yönlü dinamik karakteri incelenmektedir.

Sistemin dinamik modelini oluşturmak için bojiler ve araç gövdesi için ayrı ayrı dinamik denge denklemlerinin yazılması gerekmektedir. Bu işlem için Newton'un ikinci hareket yasası kullanılmaktadır. Katı bir cisim için dönme ve öteleme durumunda dinamik denge eşitlikleri Denklem 1 ve 2'deki gibi yazılmaktadır.

$$\sum \vec{M} = I\vec{\ddot{\theta}}$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Burada;  $M$  dönme momentini,  $F$  sisteme etki eden dış kuvvetler,  $I$  atalet momentini,  $m$  kütle ve  $a$  doğrusal ivme olarak ifade edilmektedir.

Boji 1 ile tekerlek seti 1 ve 2 arasındaki etkileşim kuvvetleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Boji 1'in dinamik denge denklemleri ise Denklem 3 ve 4'te verildiği gibi yazılmaktadır.

$$-F_{c1} - F_{b2} - F_{b1} = m_{b1}\ddot{Z}_{b1G}$$

$$F_{b2}a - F_{b1}a = I_{b1}\ddot{\theta}_{b1}$$

Dış kuvvetler  $F_{b1}$ ,  $F_{b2}$  ve  $F_{c1}$  süspansiyon sistemi elemanlarının deplasmanın ortaya çıkan etkileşim kuvvetleri olup Denklem 5, 6 ve 7'deki gibi yazılır.

$$F_{b1} = K_{11}(Z_{b1} - Z_{w1}) + C_{11}(\dot{Z}_{b1} - \dot{Z}_{w1})$$

$$F_{b2} = K_{12}(Z_{b2} - Z_{w2}) + C_{12}(\dot{Z}_{b2} - \dot{Z}_{w2})$$

$$F_{c1} = K_{s1}(Z_{c1} - Z_{b1G}) + C_{s1}(\dot{Z}_{c1} - \dot{Z}_{b1G})$$

Burada;  $K_{11}$  ve  $K_{12}$  sırasıyla tekerlek seti 1 ve 2 ile Boji 1 arasındaki yay sabitlerini,  $C_{11}$  ve  $C_{12}$  sırasıyla tekerlek seti 1, 2 ile Boji 1 arasındaki damper katsayılarını ve  $K_{s1}$  ve  $C_{s1}$  sırasıyla Boji 1 ile araç gövdesi arasındaki yay ve damper sabitlerini ifade etmektedir.

Denklem 5, 6 ve 7 verilen dış kuvvet ifadeleri Denklem 3 ve 4 ile birleştirilirse Boji 1 için aşağıdaki dinamik denge denklemleri elde edilmiş olacaktır.

$$K_{s1}(Z_{c1} - Z_{b1G}) + C_{s1}(\dot{Z}_{c1} - \dot{Z}_{b1G}) - K_{12}(Z_{b2} - Z_{w2}) - C_{12}(\dot{Z}_{b2} - \dot{Z}_{w2}) - K_{11}(Z_{b1} - Z_{w1}) - C_{11}(\dot{Z}_{b1} - \dot{Z}_{w1}) = m_{b1}\ddot{Z}_{b1G}$$

$$K_{12}(Z_{b2} - Z_{w2}) + C_{12}(\dot{Z}_{b2} - \dot{Z}_{w2}) - K_{11}(Z_{b1} - Z_{w1}) - C_{11}(\dot{Z}_{b1} - \dot{Z}_{w1}) = \frac{I_{b1}}{a}\ddot{\theta}_{b1}$$

Tekerlek setlerinin bağlantı noktaları ile bojilerin ağırlık merkezleri arasında yatay yönde  $a$  uzunluğunda bir mesafe mevcuttur. Dolayısıyla bağlantı noktalarının hareketi ile bojilerinin ağırlık merkezlerinin dikey yönlü hareketleri eşit değildir. Bu durumda rijit cisim yaklaşımı göz önünde tutularak aşağıda verilen kinematik eşitlikler yazılabilir.

$$Z_{b1} = Z_{b1G} + a\theta_{b1}, \quad Z_{b2} = Z_{b1G} - a\theta_{b1}$$

$$\dot{Z}_{b1} = \dot{Z}_{b1G} + a\dot{\theta}_{b1}, \quad \dot{Z}_{b2} = \dot{Z}_{b1G} - a\dot{\theta}_{b1}$$

Burada;  $Z_{b1}$  ve  $Z_{b2}$  sırasıyla tekerlek seti 1 ve 2 için birincil süspansiyon sistemi elemanlarının bağlantı noktalarındaki deplasmanları ifade etmektedir.

Boji 2 ile tekerlek seti 3 ve 4 arasındaki etkileşim kuvvetleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Boji 2'in dinamik denge denklemleri ise Denklem 12 ve 13'te verildiği gibi yazılmaktadır.

$$-F_{c2} - F_{b4} - F_{b3} = m_{b2}\ddot{Z}_{b2G}$$

$$F_{b4}a - F_{b3}a = I_{b2}\ddot{\theta}_{b2}$$

Dış kuvvetler  $F_{b3}$ ,  $F_{b4}$  ve  $F_{c2}$  süspansiyon sistemi elemanlarının deplasmanın ortaya çıkan etkileşim kuvvetleri olup Denklem 14, 15 ve 16'daki gibi yazılır.

$$F_{b3} = K_{21}(Z_{b3} - Z_{w3}) + C_{21}(\dot{Z}_{b3} - \dot{Z}_{w3})$$

$$F_{b4} = K_{22}(Z_{b4} - Z_{w4}) + C_{22}(\dot{Z}_{b4} - \dot{Z}_{w4})$$

$$F_{c2} = K_{s2}(Z_{c2} - Z_{b2G}) + C_{s2}(\dot{Z}_{c2} - \dot{Z}_{b2G})$$

Burada;  $K_{21}$  ve  $K_{22}$  sırasıyla tekerlek seti 3 ve 4 ile Boji 2 arasındaki yay sabitlerini,  $C_{21}$  ve  $C_{22}$  sırasıyla tekerlek seti 3, 4 ile Boji 2 arasındaki damper katsayılarını ve  $K_{s2}$  ve  $C_{s2}$  sırasıyla Boji 2 ile araç gövdesi arasındaki yay ve damper sabitlerini ifade etmektedir.

Boji 2 için ise dinamik denklemler aşağıdaki gibi yazılır.

$$K_{s2}(Z_{c2} - Z_{b2G}) + C_{s2}(\dot{Z}_{c2} - \dot{Z}_{b2G}) - K_{22}(Z_{b4} - Z_{w4}) - C_{22}(\dot{Z}_{b4} - \dot{Z}_{w4}) - K_{21}(Z_{b3} - Z_{w3}) - C_{21}(\dot{Z}_{b3} - \dot{Z}_{w3}) = m_{b2}\ddot{Z}_{b2G}$$

$$K_{22}(Z_{b4} - Z_{w4}) + C_{22}(\dot{Z}_{b4} - \dot{Z}_{w4}) - K_{21}(Z_{b3} - Z_{w3}) - C_{21}(\dot{Z}_{b3} - \dot{Z}_{w3}) = \frac{I_{b2}}{a}\ddot{\theta}_{b2}$$

Süspansiyon sistemi elemanlarının bağlantı noktaları dikkate alındığında, kinematik eşitlikler aşağıdaki gibi yazılır.

$$Z_{b3} = Z_{b2G} + a\theta_{b2}, \quad Z_{b4} = Z_{b2G} - a\theta_{b2}$$

$$\dot{Z}_{b3} = \dot{Z}_{b2G} + a\dot{\theta}_{b2}, \quad \dot{Z}_{b4} = \dot{Z}_{b2G} - a\dot{\theta}_{b2}$$

Araç gövdesi için öteleme ve dönme yönündeki dinamik denge denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$-F_{c2} - F_{c1} = m_c\ddot{Z}_{cG}$$

$$F_{c2}b_2 - F_{c1}b_1 = I_c\ddot{\theta}_{cG}$$

Yukarıda verilen eşitliklerde elde edilen etkileşim kuvvetleri dinamik denge denkleminde yerine yazılırsa araç gövdesi için aşağıdaki dinamik denge denklemleri elde edilir.

$$-K_{s2}(Z_{c2} - Z_{b2G}) - C_{s2}(\dot{Z}_{c2} - \dot{Z}_{b2G}) - K_{s1}(Z_{c1} - Z_{b1G}) - C_{s1}(\dot{Z}_{c1} - \dot{Z}_{b1G}) = m_c\ddot{Z}_{cG}$$

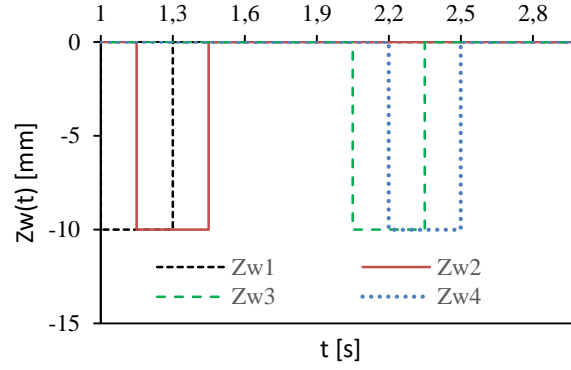
$$K_{s2}(Z_{c2} - Z_{b2G}) + C_{s2}(\dot{Z}_{c2} - \dot{Z}_{b2G}) - K_{s1}(Z_{c1} - Z_{b1G}) - C_{s1}(\dot{Z}_{c1} - \dot{Z}_{b1G}) = \frac{I_c}{b}\ddot{\theta}_c$$

Araç gövdesi için kinematik eşitlikler;

$$Z_{c1} = Z_{cG} + b\theta_c, \quad Z_{c2} = Z_{cG} - b\theta_c$$

$$\dot{Z}_{c1} = \dot{Z}_{cG} + b\dot{\theta}_c, \quad \dot{Z}_{c2} = \dot{Z}_{cG} - b\dot{\theta}_c$$

Verilen araç için toplam altı tane dinamik denge denklemi oluşturulmuştur. Bunlar Boji 1 ve 2 ile araç gövdesinin dikey yönlü doğrusal hareketleri ile ağırlık merkezi etrafındaki dairesel hareketleridir. Dolayısıyla, 10 serbestlik dereceli bir sistem için 4 adet daha denkleme daha ihtiyaç vardır. Bunlar; dört adet tekerlek setinin ray ile olan etkileşimlerinden ortaya çıkmaktadır. Şekil 3'te tekerlek setlerinin zamana göre aşağı yönlü deplasmanları verilmiştir. Ray üzerinde 10 mm derinliğinde bir çökme olduğu varsayılmış ve aracın seyir hızına göre ( $V_x = 60$  km/saat) her bir tekerlek setinin hangi zaman aralığında lokal ray düzensizliği olan hat kısmında olacağı hesaplanmıştır. Elde edilen deplasman-zaman fonksiyonları  $Z_{w1}, w2, w3, w4$  basamak girişi olarak dinamik denge denklemlerine dahil edilmiştir.



**Şekil 3.** Tekerlek setlerinin dikey yönlü deplasman-zaman diyagramı.

İncelenen raylı sistem aracının nominal parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Burada verilen değerler herhangi bir süspansiyon sistemi arızasının olmadığı durumu göstermektedir.

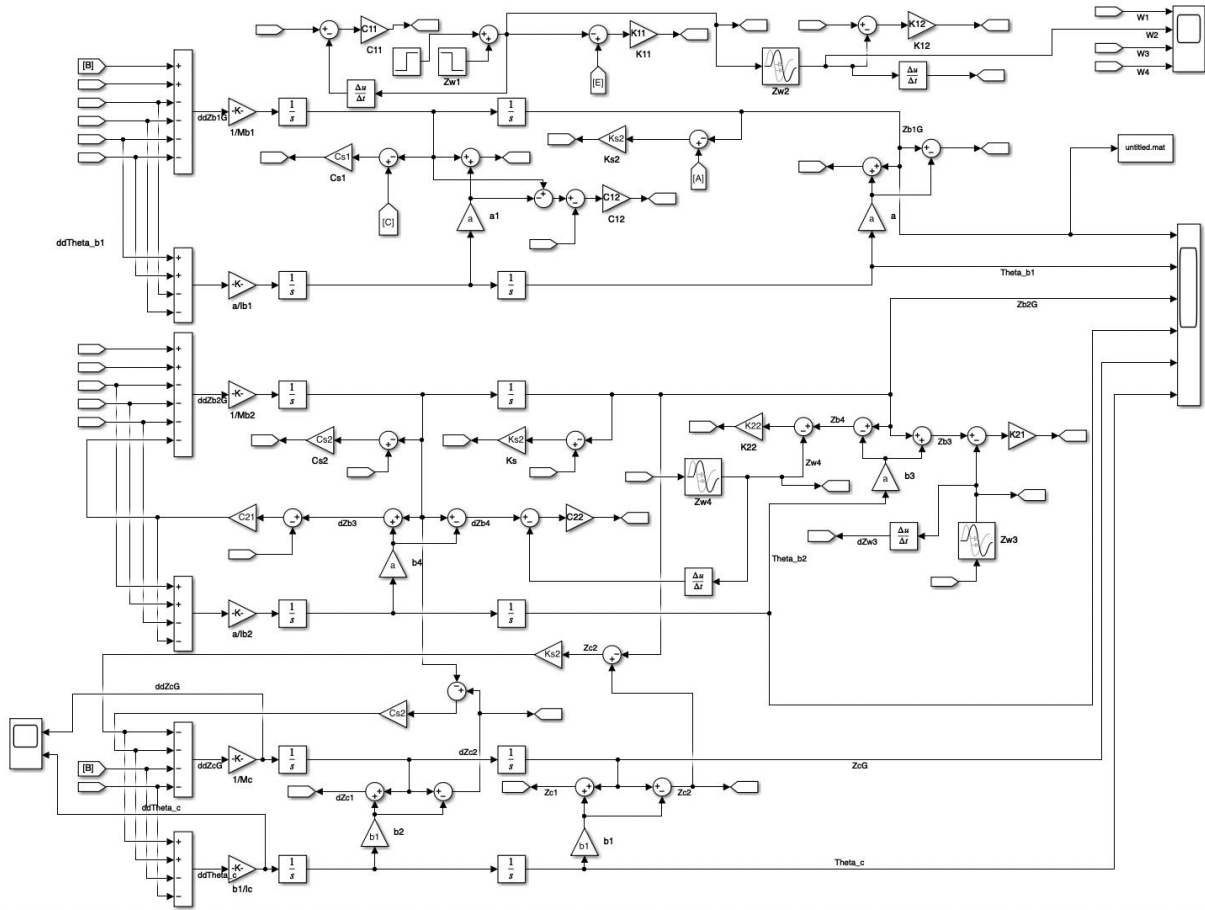
**Tablo 1.** Raylı sistem aracının nominal parametreleri (Youcef vd., 2012).

Parametre	Değer
$m_c$	<b>41.75 ton</b>
$m_{b1} = m_{b2}$	<b>3.04 ton</b>
$I_c$	<b>2086 ton m<sup>2</sup></b>
$I_{b1} = I_{b2}$	<b>3.93 ton m<sup>2</sup></b>
$K_{11} = K_{12} = K_{21} = K_{22}$	<b>530 kN/m</b>
$K_{s1} = K_{s2}$	<b>1180 kN/m</b>
$C_{11} = C_{12} = C_{21} = C_{22}$	<b>90.2 kN s/m</b>
$C_{s1} = C_{s2}$	<b>39.2 kN s/m</b>
$b_1 + b_2$	<b>17.5 m</b>
$a$	<b>1.25 m</b>
$m_c$	<b>41.75 ton</b>

### 3. Bulgular ve değerlendirme

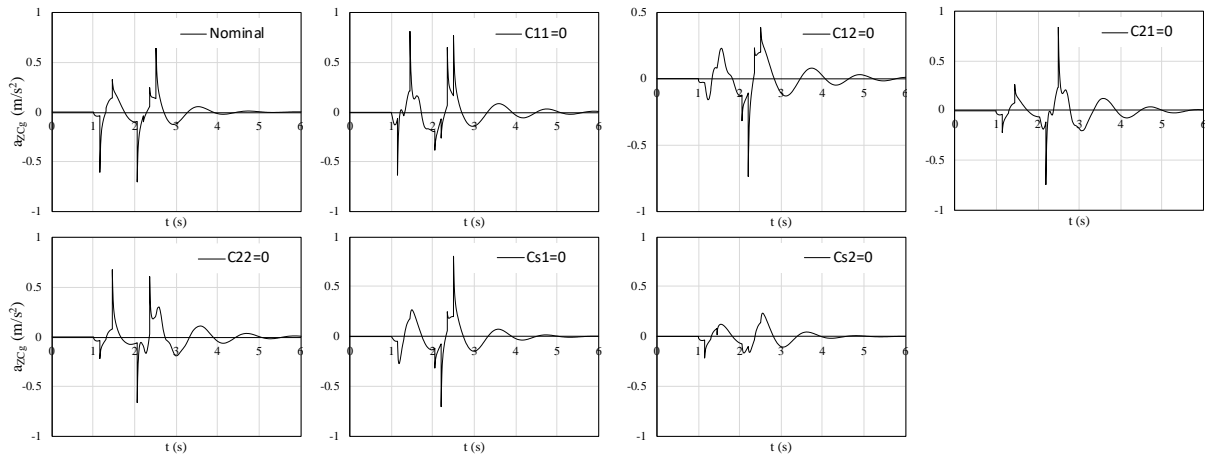
Önceki bölümde araç gövdesi için elde edilen dinamik denge denklemleri dördüncü Runge-Kutta (Ode45) metodu kullanılarak nümerik olarak çözülmüştür. Çözüm için Simulink paket programı kullanılmıştır. Şekil 4’te araç gövdesinin dikey dinamik modeli Simulink blokları kullanılarak elde edilmiştir.





Şekil 4. Araç gövdesinin dikey yöndeki dinamiği için oluşturulan Simulink blok diyagramı.

Yolcu vagonunda birincil ve ikincil süspansiyon sisteminde yer alan damperlerin ayrı ayrı servis dışı kalmalarının aracın dinamik karakteri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araç gövdesinin dikey yönde ivme değişimleri (z-ekseni) Şekil 5'te verilmiştir. Arızalı damper durumunu test etmek için ilgili damperin sönümlenme sabiti sıfır olarak alınmıştır.

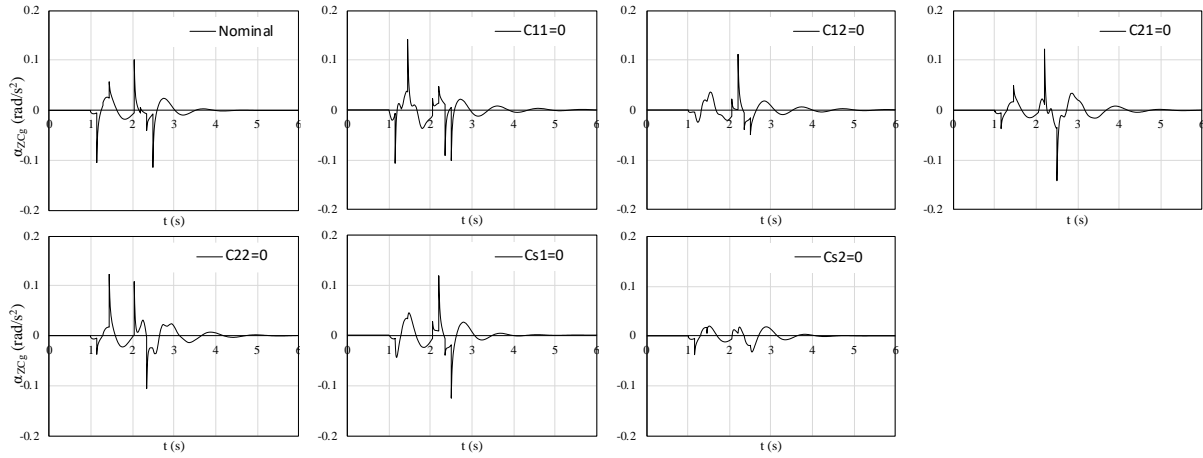


Şekil 5. Farklı damper arızaları için araç gövdesinin z-eksenindeki dikey ivme değişimleri.

Nominal ivme grafiği bütün süspansiyon sisteminin sorunsuz çalıştığı durumu göstermektedir. Nominal durum ile diğer damper arızası olan durumlar karşılaştırıldığında titreşim cevaplarında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ancak ivme genlikleri bütün durumlar için yaklaşık olarak  $0.7 \text{ m/s}^2$  genlik değeri etrafında değişmektedir. Burada, en önemli değişim  $C_{s2}=0$  olduğunda tespit edilmiştir. Dikey ivme genlikleri  $0.25 \text{ m/s}^2$  değerinin altında kalarak yolcu konforu açısından avantaj sağlamıştır. Benzer şekilde bütün arıza durumları için sönümlenme süresi 4 s seviyesinde kalırken ikincil süspansiyon

sisteminde meydana gelen arızalarda bu sürenin 3 s'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Süspansiyon sistemi dikey ivme değişimi açısından incelendiğinde, birincil süspansiyon sisteminde oluşacak bir damper arızasının yolcu konforunu önemli ölçüde değiştirmedeği görülmüştür. Ancak ikincil süspansiyon sisteminde meydana gelecek arızaların kritik olduğu tespit edilmiştir.

Dikey ivme değerlerinin yanı sıra açısız yöndeki ivme değişimlerinin de sürüş konforu ve seyir güvenliği açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 6'da birincil ve ikincil süspansiyon sisteminde yer alan damper arızalarının araç gövdesinde meydana getirdiği açısız ivme değişimleri verilmiştir. Açısız ivme değişimleri de titreşim cevabı olarak Şekil 5'te verilen trendlere benzer bir karakter sergilemektedir. Ancak genlik ve ivme yönleri değişmektedir. Nominal durum ile kıyaslandığında damper arızaları açısız ivme üzerinde daha etkin biçimde ortaya çıkmaktadır. Örneğin,  $C_{11}=0$  ve  $C_{21}=0$  durumlarında  $\alpha_{ZCG}$  değerleri  $0.1 \text{ rad/s}^2$  limitlerini aşmaktadır. İlave olarak, sönümleme sürelerinde yaklaşık 1 s seviyesinde gecikmeler oluşmaktadır. Yolcu konforu açısından düşünüldüğünde sadece  $C_{s2}$  damper arızası pozitif bir etki yapmış olsa da (maksimum  $\alpha_{ZCG} = 0.25 \text{ rad/s}^2$ ) damper arızaları birincil süspansiyon sisteminde ivme genliklerini artırdığı için seyir güvenliğini olumsuz etkilemiştir (Şekil 6'da gösterilmektedir).



Şekil 6. Farklı damper arızaları için araç gövdesinin açısız ivme değişimleri.

Sürüş konforunu değerlendirmede açısız ve dikey ivme değerleri önemli bir etkiye sahiptir ancak farklı parametrelerin de sürüş konforu açısından değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunlardan biri de yolcu üzerine gelen ivmelerin frekanslarıdır. GB/T 5599-1985 standardına dayanarak yolcu konforu için Sperling indeksi  $W$  aşağıdaki denkleme göre hesaplanmaktadır (Yang vd., 2015).

$$W = 0.896 \sqrt[10]{\frac{a^3}{f} F(f)}$$

Burada;  $a \text{ cm/s}^2$  cinsinden araç gövdesinin dikey ivmesini,  $f \text{ (Hz)}$  dikey ivmenin frekansını ve  $F(f)$  ise titreşim frekansının düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

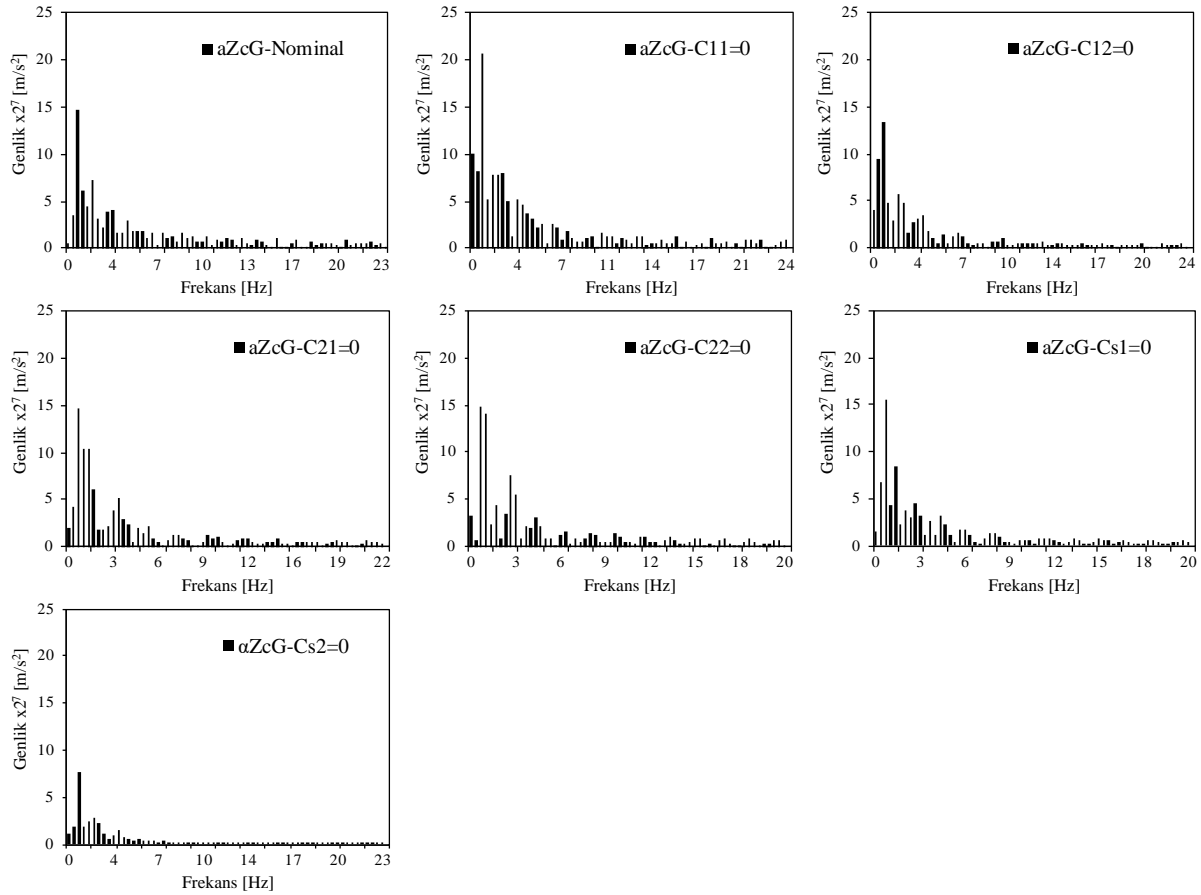
$a_{ZCG}(t)$  ve  $\alpha_{ZCG}(t)$  dikey ve açısız ivme fonksiyonlarına Fourier transformasyonu uygulanarak spektral güç yoğunluğu denklemleri elde edilmiştir. Fourier transformasyonu için aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır.

$$a(f) = \sum_0^{N-1} a_n e^{\frac{-2\pi kn}{N}} = \sum_0^{N-1} a_n \left[ \cos\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) - i \sin\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) \right]$$

Burada;  $a(f)$  spektral güç yoğunluğu fonksiyonu,  $N$  ivme fonksiyonu örneklem sayısı,  $k \in [0, N-1]$  ve  $a_n$  ise  $n$ . adımdaki ivme değeridir. Bu çalışmada  $N=128$  için güç yoğunluğu fonksiyonları hesaplanmıştır.

$a_{ZCG}$  ve  $\alpha_{ZCG}$  fonksiyonlarının farklı damper arızaları durumunda ortaya çıkan frekans spektrumları sırasıyla Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Şekil 7 ve 8 incelendiğinde dikey ve açısız ivmeler 0 ile 24 Hz frekans aralığında salınım yapmaktadır. Ancak yolcu konforu değerlendirmesi için yüksek genliğe sahip

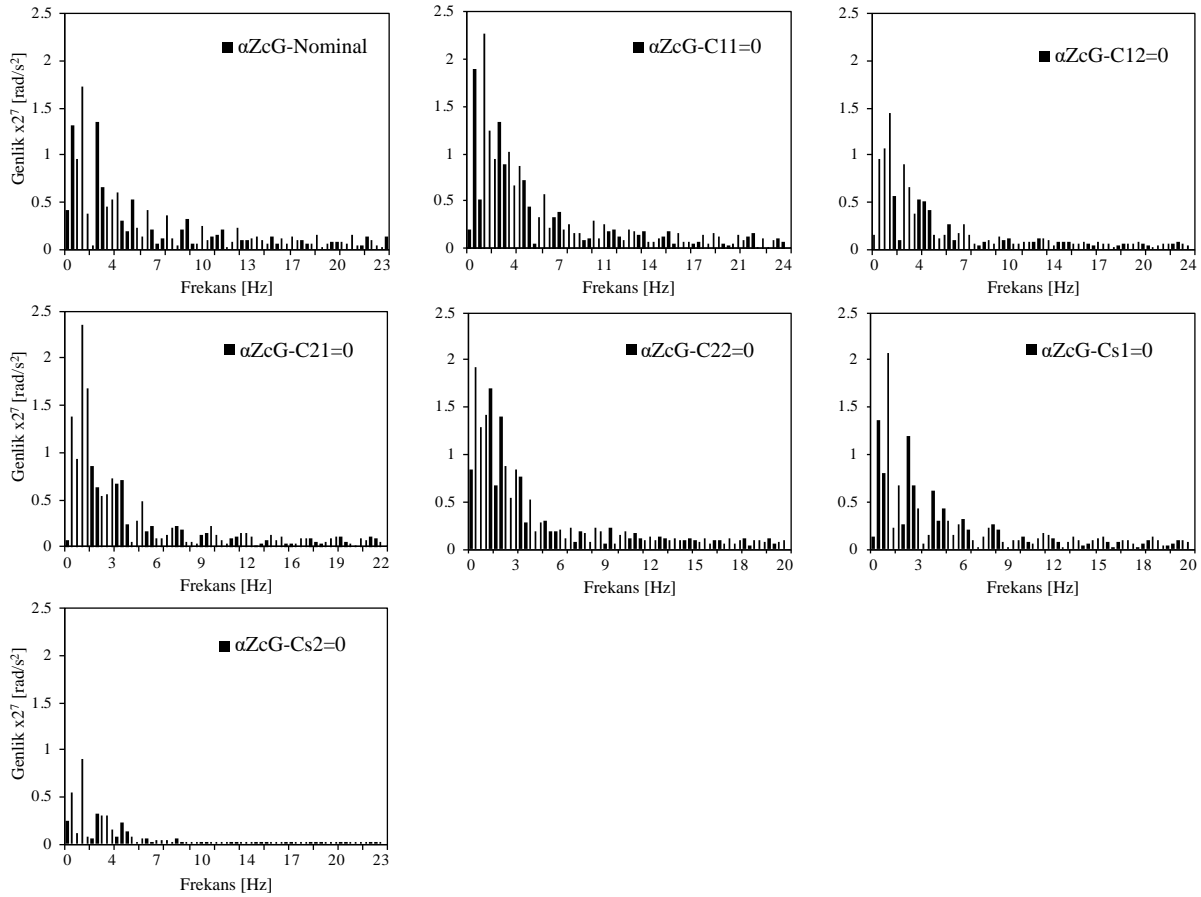
frekans değerlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Çok düşük genlikteki salınımlar yolcu konforu ve seyir güvenliği açısından önemli bir etkiye sahip değildir.



**Şekil 7.** Araç gövdesinin z-ekseni ivmelerinin frekans spektrumu (Spektral güç yoğunluğu fonksiyonu).

Dikey ivme değerlerinde Mod 1 frekansları nominal durum için 15 Hz olarak hesaplanmıştır. C11=0 olduğu durumda Mod 1 frekans değeri 20 Hz'in üzerine çıkmaktadır. Boji 1 için birincil süspansiyon arızası Boji 2 ye göre daha kritik olarak kaydedilmiştir. Bunun yanında daha düşük genlikteki frekans dağılımları da damper arızaları ile değişmektedir (Şekil 7'de gösterilmiştir). Özellikle ikincil süspansiyon sisteminde damper arızası olması durumunda ( $C_{s1}=0$  ve  $C_{s2}=0$ ) frekans bantları oldukça daralmakta ve 10 Hz'in üzerindeki salınımlar neredeyse ortadan kalkmaktadır. Benzer şekilde  $C_{s2}=0$  olduğunda Mod 1 frekans değeri 8 Hz seviyesine kadar düşmektedir. Bu durum yolcu konforunu olumlu etkilese de birincil süspansiyon sistemi tarafında Boji 1 ve 2'deki değişimlere bağlı olarak seyir güvenliği açısından olumlu karşılanmamaktadır.

Araç gövdesinin açısız yöndeki ivme değerleri için frekans spektrumu Şekil 8'de verilmiştir. Nominal durumda yüksek genliğe sahip salınım frekansları 0.5 Hz ile 3 Hz arasında değişmektedir. Bunun yanında ortalama  $0.25 \times 10^7$  rad/s<sup>2</sup> genlik seviyesinde yüksek frekanslı titreşim dağılımı olduğu kaydedilmiştir. Damper arızaları açısız ivme bakımından değerlendirildiğinde sürüş konforunu bozucu etkiler ortaya koymaktadır. Örneğin,  $C_{11}=0$  ve  $C_{21}=0$  olması durumunda Mod 1 frekansları sırasıyla 1.8 Hz ve 4.5 Hz olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, Boji 1 ve 2'nin birinci damperlerinin arızaları titreşim genlikleri de arttığından dolayı kritik olarak değerlendirilmiştir. İlave olarak, araç gövdesindeki ilk damper ( $C_{s1}=0$ ) de nominal duruma benzer bir frekans dağılımına sahip olmasına rağmen genlik değerleri  $10^8$  rad/s<sup>2</sup>'in üzerine çıkarak yaklaşık %25'lik bir artışa sebep olmuştur. Dikey ivme frekanslarında da



**Şekil 8.** Araç gövdesinin açısall ivmelerinin frekans spektrumu (Spektral güç yoğunluğu fonksiyonu).

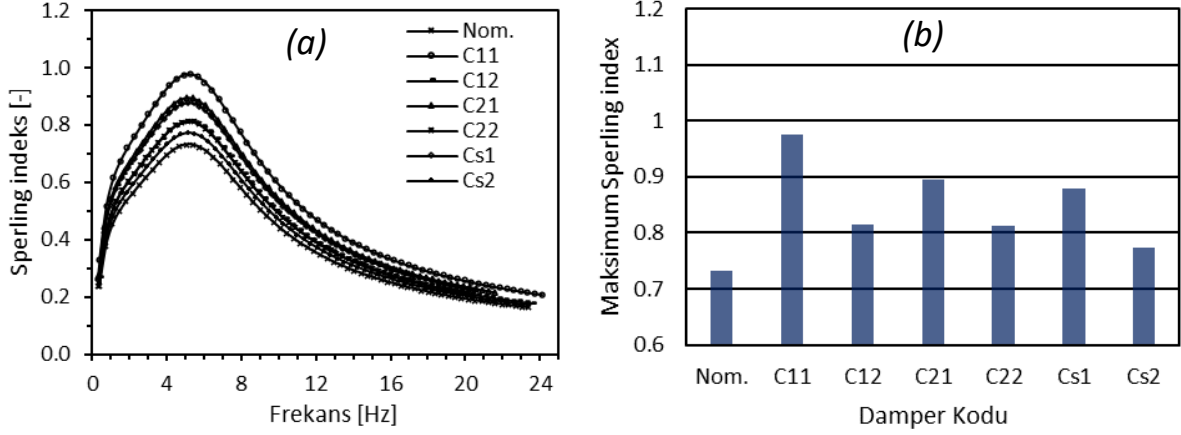
olduğu gibi  $C_{s2}$  kodlu damper arızası sürüş konforunu olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca bu damperin arızası farklı frekanstaki salınımları (özellikle 5 Hz ve üzeri) Şekil 8’de görüldüğü gibi tamamen ortadan kaldırmıştır. Bununla beraber yüksek genlikli frekans aralığı 3 Hz değerinin altında konumlanmaktadır.

Araç süspansiyon sisteminde damper arızası durumunda açısall yönde maksimum ivme ve Mod 1 frekans değerleri Tablo 2’de verilmiştir.  $C_{11}=0$  ve  $C_{21}=0$  durumunda açısall ivmenin 0.74’ten 0.84  $\text{rad/s}^2$ ’ye kadar arttığı gözlemlenmiştir.  $C_{s2}=0$  olduğunda araç gövdesindeki maksimum dönme açısı 0.101’den 0.019 rad seviyesine kadar düşmüştür. Tablo 2’de görüldüğü gibi dikey yöndeki Mod 1 ivme frekanslarında farklı arıza konfigürasyonları için önemli değişimler görülmemiştir. Ancak, açısall ivmenin Mod 1 frekansları  $C_{22}$  kodlu arıza konfigürasyonu için 1.44 Hz olan nominal değerinden 0.64 Hz’e düşmüştür. Genel olarak bakıldığında birincil süspansiyon sisteminde meydana gelen damper arızalarının daha kritik bir role sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında ikincil süspansiyon sisteminde meydana gelen arızalar sürüş konforunu önemli ölçüde değiştirmemektedir.

**Tablo 2.** Arızalı damperlerin sürüş konforu parametreleri.

Arızalı Damper	Maks. $a_{ZcG}$ ( $\text{rad/s}^2$ )	Maks. $\theta_c$ (rad)	Mode 1 $Z_{cG}$ (Hz)	Mode 1 $\theta_c$ (Hz)
Nominal	0.74	0.101	1.08	1.44
$C_{11}$	0.813	0.141	1.13	1.507
$C_{12}$	0.388	0.111	1.107	1.477
$C_{21}$	0.841	0.123	1.012	1.349
$C_{22}$	0.679	0.122	0.959	0.64
$C_{s1}$	0.805	0.119	0.959	1.279
$C_{s2}$	0.238	0.019	1.096	1.461

Yolculara etki eden ivme değerlerinin genlikleri ile frekansları yolcu konforunun değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Bunun yanında Sperling indeksi yolcu konforunun değerlendirilmesinde diğer bir parametre olarak kullanılmaktadır. Elde edilen ivme ve frekans fonksiyonları ile farklı damper arıza senaryolarında Sperling indeksi değerleri Şekil 8a'de verilmiştir. Şekil 8b'de ise her bir damper arızası senaryosuna karşılık gelen maksimum değerler gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı damper arızası durumlarında a) Sperling indeksi dağılımı ve b) maksimum Sperling indeksleri.

Elde edilen sonuçlarda Sperling indeksi değerlerinin bütün damper arızası senaryolarında 5 ile 7Hz arasında maksimum noktaya yaklaşma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle yolcu uzuvlarının rezonans frekansları dikkate alındığında bu aralıktaki doğal frekansa sahip olan uzuv ve organlar üzerinde yolcu konforu açısından daha olumsuz bir durum ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Maksimum Sperling değerleri ise bu etkinin hangi düzeyde olacağını bir ölçüsüdür. Şekil 8b'de verilen değerler incelendiğinde en olumsuz durumun sırasıyla C<sub>11</sub>, C<sub>21</sub> ve C<sub>s1</sub> kodlu damper arızası senaryosunda ortaya çıktığı görülmektedir. Bu sonuç yukarıda verilen ivme ve frekans dağılımı değerleri ile de oldukça uyumluluk göstermektedir. Bununla beraber Sperling indeksinin 0.8'in altında kaldığı durumlarda yolcu konforu üzerinde önemli bir konfor bozucu etki ortaya çıkarmadığı bilinmektedir.

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada iki boji ve sekiz adet dingile sahip bir raylı sistem aracının yolcu vagonunun dikey yöndeki dinamik karakteri incelenmiştir. Birincil ve ikincil süspansiyon sistemi damperlerinin ayrı ayrı arıza durumları dikkate alınarak araç gövdesinin dikey ve açısız yöndeki ivme değişimleri hesaplanmıştır. Aracın 60 km/s sabit seyir hızında 10 mm derinliğinde lokal bir ray çökmesi üzerindeki hareketi dikkate alınmıştır. Devamında titreşimlerin frekans spektrumları (spektral güç yoğunluğu) verilerek sürüş konforu ve seyir güvenliği gibi faktörlere olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- C<sub>11</sub>, C<sub>21</sub> ve C<sub>s1</sub> kodlu damperlerin arızalanması durumunda araç gövdesi üzerine etki eden maksimum dikey ivme değerlerinin yaklaşık olarak %25 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bu damperlerin arıza durumlarının daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer yandan herhangi bir damperin arıza durumunda titreşimin tamamen sönümlenme süresinde yaklaşık olarak 1s seviyesinde artışlar tespit edilmiştir. Bu iki durumun sürüş konforu ve seyir güvenliği üzerinde olumsuz bir etki ortaya çıkardığı anlaşılmaktadır. Ancak C<sub>s2</sub> kodlu damper arızası daha düşük genlikli dikey ivme değerleri ortaya çıkarmış ve sürüş konforu üzerinde pozitif bir etki bırakmıştır.
- Damper arızaları açısız yöndeki maksimum ivme genlikleri üzerinde kayda değer ölçüde bir etki ortaya koymamıştır. Ancak C<sub>s2</sub> kodlu damper arızası durumunda maksimum açısız ivme değerinde düşüş gözlemlenmiş ve sürüş konforuna katkı sağladığı not edilmiştir. İlave olarak, tüm damper arızaları toplam sönümlenme süresini yaklaşık olarak 1s geciktirmiştir. Bu durum sürüş konforu açısından olumsuz olarak kaydedilmiştir.

- Boji 1 için birincil süspansiyon sistemi damper arızası Boji 2 ye göre daha kritik olarak kaydedilmiştir. İkincil süspansiyon sisteminde damper arızası olması durumunda ( $C_{s1}=0$  ve  $C_{s2}=0$ ) frekans bantlarının daraldığı ve 10 Hz'in üzerindeki salınımlar nerdeyse ortadan kalktığı tespit edilmiştir. Bu durum yolcu konforunu olumlu etkilese de birincil süspansiyon sistemi tarafında Boji 1 ve 2'deki değişimlere bağlı olarak seyir güvenliği açısından olumlu karşılanmamaktadır.
- Damper arızaları açısız ivme bakımından değerlendirildiğinde sürüş konforunu bozucu etkiler ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle, Boji 1 ve 2'nin birinci damperlerinin arızaları titreşim genlikleri de arttığından dolayı kritik olarak değerlendirilmiştir. Araç gövdesindeki ilk damper ( $C_{s1}=0$ ) nominal duruma benzer bir frekans dağılıma sahip olmasına rağmen genlik değerleri  $2^8$  rad/s<sup>2</sup>'in üzerine çıkarak yaklaşık %25'lik bir artışa sebep olmuştur. Sonuç olarak birincil süspansiyon sisteminde meydana gelen damper arızalarının daha kritik bir role sahip olduğu ve ikincil süspansiyon sistemindeki damper arızalarının sürüş konforunu önemli ölçüde değiştirmedığı rapor edilmiştir.

### Araştırmacıların katkı oranı beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### Çıkar çatışması beyanı

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

### Kaynakça

- F.T.K. Au, J.J. Wang, Y.K. Cheung.** (2002) Impact study of cable-stayed railway bridges with random rail irregularities, Eng. Struct. 24 529–541
- G. Tao, Z. Wen, X. Liang, D. Ren, X. Jin.** (2019). An investigation into the mechanism of the out-of-round wheels of metro train and its mitigation measures, Veh. Syst. Dyn. 57 1–16
- Hao JH, Zeng J and Wu PB.** (2006). Optimization of vertical random vibration isolation and suspension parameters of railway passenger car systems. J China Railway Soc, 28: 35–40
- König, P., Salcher, P., Adam, C., & Hirzinger, B.** (2021). Dynamic analysis of railway bridges exposed to high-speed trains considering the vehicle–track–bridge–soil interaction. *Acta Mechanica*, 232(11), 4583–4608. <https://doi.org/10.1007/s00707-021-03079-1>
- L. Xu, W. Zhai, J. Gao.** (2017). A probabilistic model for track random irregularities in vehicle/track coupled dynamics, Appl. Math. Model., 51 145–158. [8]
- Lee, N. J., & Kang, C. G.** (2015). The effect of a variable disc pad friction coefficient for the mechanical brake system of a railway vehicle. *PLoS ONE*, 10(8), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135459>
- Lei, S., Ge, Y., & Li, Q.** (2020). Effect and its mechanism of spatial coherence of track irregularity on dynamic responses of railway vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.106957>
- M. Majka, M. Hartnett.** (2009). Dynamic response of bridges to moving trains: a study on effects of random track irregularities and bridge skewness, Comput. Struct., 87 1233–1252
- Nejlaoui M, Houdi A, Affi Z and Romdhane L.** (2013) Multiobjective robust design optimization of rail vehicle moving in short radius curved tracks based on the safety and comfort criteria. Simul Model Pract Theory, 30 21–34
- Thoreson MJ, Uys PE, Els PS and Snyman JA.** (2009). Efficient optimisation of a vehicle suspension system, using a gra- dient-based approximation method, part 1: mathematical modelling. Math Comput Model, 50 1421–1436
- X. Sheng, C.J.C. Jones, D.J. Thompson.** (2004). A theoretical model for ground vibration from trains generated by vertical track irregularities, J. Sound Vibr. 272 937–965

**Yang Y, Zhang XF, Zhang ZF and Xu Y.** (2014). Sensitivity analysis of railway vehicle suspension parameters on riding stability. *J Railway Sci Engng*, 11 116–120

**Yang, Y., Zeng, W., Qiu, W. S., & Wang, T.** (2016). Optimization of the suspension parameters of a rail vehicle based on a virtual prototype Kriging surrogate model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(8), 1890–1898. <https://doi.org/10.1177/0954409715617213>

**Yang, Y., Zeng, W., Qiu, W. S., & Wang, T.** (2016). Optimization of the suspension parameters of a rail vehicle based on a virtual prototype Kriging surrogate model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(8), 1890–1898. <https://doi.org/10.1177/0954409715617213>

**Youcef, K., Sabiha, T., El Mostafa, D., Ali, D., & Bachir, M.** (2013). Dynamic analysis of train-bridge system and riding comfort of trains with rail irregularities. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(4), 951–962. <https://doi.org/10.1007/s12206-013-0206-8>

**Zboinski, K., & Golofit-Stawinska, M.** (2022). Determination and Comparative Analysis of Critical Velocity for Five Objects of Railway Vehicle Class. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116649>

## Research Article

### **A bibliometric analysis of publications related to dynamic vehicle routing problems**

Mustafa DEMİRBILEK\*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Gaziantep Islam Science and Technology University, Gaziantep, Turkey

\*Correspondence: [mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr](mailto:mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1230420

**Abstract:** Dynamic Vehicle Routing Problems (DVRP) have been highly studied by researchers and decision-makers for the last couple of decades with the effect of developments in GPS and mobile digital tools. Particularly, the digital transformation in logistic and supply chain activities under Industry 4.0 paradigm provides a more suitable environment for DVRP applications. In this study, we conduct a bibliometric analysis related to studies in the DVRP area to understand relationships among publications in terms of countries, institutions, citations, journals, authors, etc., and to show related information and possible trends to the current and prospective researchers and decision-makers. A total of 831 articles retrieved from the Scopus database are examined for the analysis. As a result, the highest number of studies are published by researchers in China while the most impactful studies in terms of citations are carried out by researchers affiliated with US institutions. DVRPs have been frequently studied in Industrial/System Engineering and Management Schools whereas journals in transportation science and operations research/industrial engineering have mostly published DVRP studies. From the application side, ride-sharing, ride-hailing, and crowdsourced delivery appear as new trends for DVRPs in terms of co-occurrence analysis. On the other hand, heuristic and metaheuristic solution approaches frequently co-occur with DVRPs.

**Keywords:** Dynamic Vehicle Routing Problem, Bibliometric Analysis, Industry 4.0

### **Dinamik araç rotalama problemleriyle ilgili çalışmaların bibliyometrik analizi**

**Özet:** Son birkaç on yılda, küresel konumlama sistemleri ve mobil dijital araçlardaki gelişmelerin etkisiyle, Dinamik Araç Rotalama Problemi (DARP), araştırmacılar ve karar vericiler tarafından önemli oranda çalışmaya başlanmıştır. Özellikle tedarik zinciri yönetimi ve lojistik alanlarındaki Endüstri 4.0 paradigmasının getirdiği dijital dönüşüm DARP uygulamaları için daha uygun bir ortam sağlamıştır. Bu çalışmada, ülke, enstitü, dergi, yazar, atıf gibi kriterlere bakarak bu alanda yazılan makaleler arasındaki ilişkileri anlamak ve bu konuyla ilgili araştırmacılara ve karar vericilere bilgi vermek adına bibliyometrik analiz yapılmıştır. Bu kapsamda Scopus veri tabanından bulunan 831 adet makale incelenmiştir. Sonuç olarak bu alanda en fazla makalenin Çin’de yayınlandığı, diğer taraftan atıf bazında en etkili makalelerin Birleşik Devletler’ de çalışan araştırmacılar tarafından yapıldığı ortaya çıkmıştır. DARP çalışmalarının en fazla üniversitelerin endüstri/sistem mühendisliği ve yönetim bölümleri tarafından gerçekleştirildiği, diğer taraftan ulaşım bilimleri ve yöneylem araştırmaları/endüstri mühendisliği alanlarında çıkan dergilerde yayınlandığı görülmüştür. Uygulama tarafında, paylaşımlı binış, çevrimiçi kısa süreli özel araç kiralama gibi konuların DARP alanında yeni eğilimler olduğu görülmüştür. Diğer yandan, sezgisel ve metasezgisel metotların DARP çalışmalarında sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik araç rotalama problemi, bibliyometrik analiz, endüstri 4.0



## 1. Introduction

Vehicle Routing Problem (VRP) first appeared in the literature with the study of Dantzig and Ramster (1959), entitled “The Truck Dispatching Problem”. They attempted to minimize the number of tankers carrying fuel from a central depot to several stations in a region. Many studies considering different variants of VRP such as time windows, stochastic service and travel times, the capacity of vehicles, simultaneous pickup, and delivery, etc. as well as different solution strategies such as integer, mixed integer linear, stochastic programming, genetic algorithms, simulated annealing, tabu search, ant colony optimization, etc. have been carried out since then (Demirbilek, 2021b; Laporte, 2009; Koç and Laporte, 2018). Not only different variants and solution methodologies have been proposed, but also VRPs have been applied in a variety of areas such as homecare (Demirbilek et al., 2021; Fikar and Hirsch, 2017), ambulance management (Talarico et al., 2015; Tlili et al., 2017), patrol management (Dewinter et al., 2020), courier (Chang and Yen, 2012; Ulmer et al., 2017), waste collection (Han and Ponce-Cueto, 2015), etc.

One of the most important extensions of VRP is the Dynamic VRP (DVRP). Before going deeper into DVRP, one must understand what the Static, Deterministic, and Stochastic VRP are:

*Static:* The problem does not consider any dynamic changes, such as new customer requests or vehicle breakdowns, during the planning and execution of routes. The problem assumes that all the necessary information is available upfront.

*Deterministic:* The problem assumes that all parameters, including travel times, distances, customer demands, and vehicle capacities, are known with certainty and do not involve any randomness or uncertainty.

*Stochastic:* The problem incorporates uncertainty in various parameters, such as travel times, customer demands, or vehicle capacities. These parameters are assumed to be random variables with probability distributions, and their specific values are not known with certainty in advance.

It is assumed that all related data such as customer requests, locations, demands, etc. are known before the execution of optimization begins in the Static VRP (Demirbilek, 2021a). However, some data are most likely revealed when the current schedules are already being executed in real-life problems. This is where the dynamism issue is taken into consideration. In the Dynamic VRP, routes of vehicles should be flexible enough in such a way that they can answer new customers, demands, or changings in previous demands. Dynamic problems can sometimes involve deterministic elements, while other times they can involve stochastic elements. Therefore, some problems are classified as Dynamic and Deterministic VRPs while some are called as Dynamic and Stochastic Problems. Stochastic elements deal with uncertainty in VRP while dynamic elements involve time-dependent changes in the problem parameters. Stochastic conditions arise from various factors such as unpredictable travel times, customer demand fluctuations, or vehicle breakdowns. On the other hand, dynamic conditions can be new customer requests, cancellations, or real-time updates on traffic conditions. Dynamic problems consist of some Studies in DVRPs started in the late 70s not too later than the first VRP studies. Studies of Wilson and Colvin (1977) and Psaraftis (1980) can be shown as examples of the first DVRP studies. DVRPs did not attract many researchers` attention due to the absence or insufficiency of necessary technologies such as global positioning systems (GPS), PCs, mobile phones, business models, etc. (Ojeda Rios et al., 2021). However, DVRP studies have been increasing since the beginning of the new millennia thanks to not only outstanding development in the technology of GPS, mobile phones/PCs, management of business models such as ERP and CRP, data collection methods and process algorithms, but also new application areas raised from changings in demand of customers including same day delivery (Voccia et al., 2019), ride-sharing (Agatz et al., 2012), ride-hailing (Feng et al., 2020), and crowdsourced delivery (Arslan et al., 2019). Particularly, fast developments in Industry 4.0 requiring mobility and real-time integration make DVRP and solutions methods more important day by day (Abdirad et al., 2020). Therefore, studies in DVRP have significantly increased recently. Before 2000, while only two review studies were conducted (Dial, 1995; Gendreau and Potvin, 1998), many review studies have been observed after 2000 (Ghiani et al., 2003; Larsen et al., 2002; Larsen et al.,

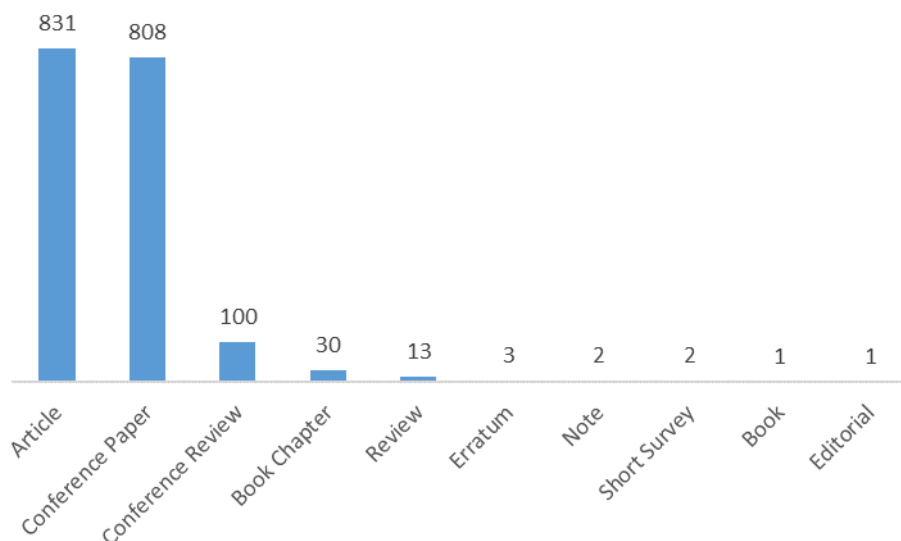
2008; Ichoua et al., 2007; Ojeda Rios et al., 2021; Pillac et al., 2013a; Rios et al., 2021; Ritzinger et al., 2016; Toth et al., 2015). These review studies categorized existing DVRP studies based on the evolution and quality of information, solution methods, objectives, constraints, and accepting/rejecting options.

Bibliometric analysis studies provide researchers to review a substantial amount of knowledge in a specific area in a relatively short time. These studies show relationships between authors, citations, institutions, and countries as well as recent trends in a specific topic. Bibliometric analysis studies have been conducted in many areas such as a journal evaluation (Martínez-López et al., 2018), economics (Bonilla et al., 2015), tsunami research (Chiu and Ho, 2007), occupational health and safety (Demirbilek and Özulukale Demirbilek, 2022), knowledge management (Gaviria-Marin and Baier-Fuentes, 2019), and etc. for long years. Although good review studies already exist as mentioned above, we cannot find a bibliometric analysis study for DVRPs. To be able to fill this gap, we present the bibliometric analysis of DVRPs to demonstrate researchers and interested readers in the area to the most influential authors, institutions, and countries involved in DVRP studies, the most cited publications and journals, and the most recent trends in the field. In this study, we used the VOSviewer software developed by van Eck and Waltman (Van Eck and Waltman, 2010) to carry out the bibliometric analysis and mapping. VOSviewer software provides different mapping types such as label, density, cluster-density and scatter and they help readers to easily interpret relationships between examined factors. Distance-based maps supported by VOSviewer software show the strength of relationships among nodes. Smaller distances indicate strong relations whereas longer distances demonstrate weak relationships among nodes.

## 2. Methodology

### 2.1. Data Source

Examined publications in this study were retrieved from the Scopus database in November 2021. The search inquiry covered “dynamic routing AND vehicle”, “online routing AND vehicle”, “dynamic traveling”, “dynamic vehicle routing”, “vehicle routing AND real-time”, “real-time AND traveling salesman”, “real-time AND traveling salesperson”, “online traveling”. The keywords were searched in titles, abstracts, and keywords of the publications. According to the search, a total of 1793 documents were accessed. The distribution of documents is shown in Figure 1. Note that we only consider 831 articles in this study. The citation and bibliographical information, abstract and keywords, funding details, and other related data were imported as a CSV file.



**Figure 1.** The distribution of documents

## 2.2. Bibliometric Analysis and VOSviewer Software

Bibliometric analysis is a quantitative approach to the study of scholarly publications that involves analyzing patterns of publication, citation, and authorship. The term "bibliometrics" is derived from the Greek words "biblio," meaning book, and "metrics," meaning measurement. The goal of bibliometric analysis is to use statistical and mathematical methods to uncover patterns in the production, dissemination, and impact of scholarly literature.

Bibliometric analysis can be used to study a wide range of scholarly outputs, including journal articles, books, conference proceedings, patents, and even social media posts. By analysing bibliographic data, researchers can identify patterns of research activity, influential authors and publications, and emerging areas of research (Bornmann and Leydesdorff, 2014).

There are several commonly used bibliometric indicators, including citation counts, h-index, and journal impact factor. Citation counts measure the number of times a particular publication has been cited by other scholars. The h-index is a measure of an author's productivity and impact, calculated based on the number of papers they have published and the number of citations they have received. The journal impact factor is a measure of a journal's influence, calculated based on the number of citations its articles have received in a given period (Van Eck and Waltman, 2017).

Bibliometric analysis can be used for a variety of purposes, such as evaluating the impact of research programs, identifying potential collaborators or competitors, or monitoring trends in research activity over time. It is a valuable tool for researchers, administrators, and funding agencies seeking to understand the landscape of scholarly communication and to make informed decisions about research funding, collaboration, and dissemination (Kumar and Rathi, 2019).

VOSviewer is a free software program for constructing and visualizing bibliometric networks. It is widely used for conducting bibliometric analysis, which involves the statistical analysis of publications to identify patterns of research activity, influential authors, and key research topics (Van Eck and Waltman, 2017). VOSviewer works by analysing bibliographic data in various formats, including bibliographic databases such as Web of Science, Scopus, and PubMed. The program uses co-citation and co-authorship analysis to identify the relationships between publications, authors, and institutions. Co-citation analysis involves identifying two or more publications that are cited together in a third publication, indicating a relationship between the cited publications. Co-authorship analysis involves identifying two or more authors who have collaborated on a publication, indicating a relationship between the authors (Waltman et al., 2010). Once the bibliographic data is analysed, VOSviewer creates a visualization of the bibliometric network. The visualization can be customized to display different aspects of the network, such as the number of publications, the number of citations, or the number of authors. The program also provides tools for clustering and mapping the network, making it easier to identify research clusters and patterns (Chen, 2017).

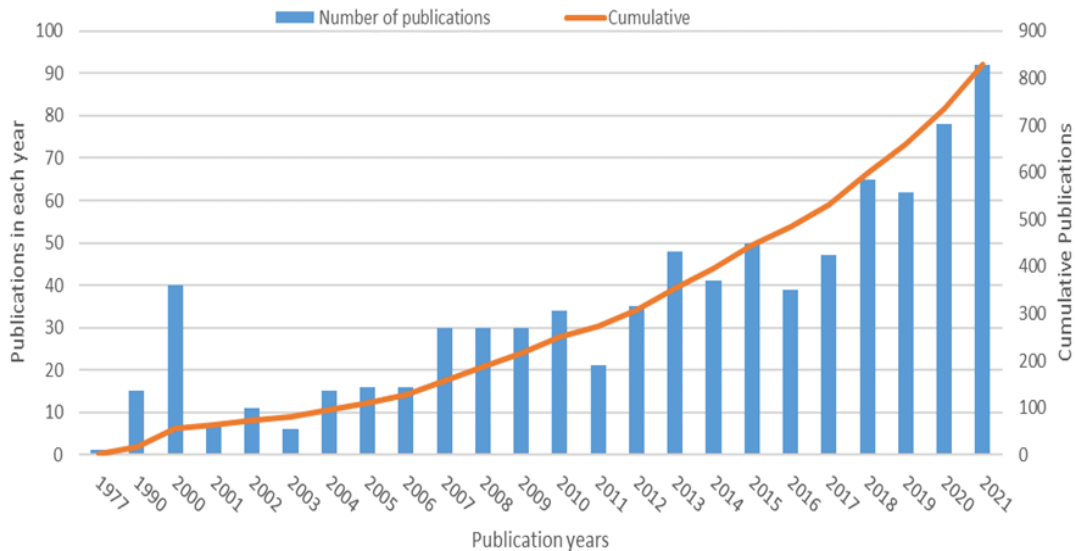
One of the strengths of VOSviewer is its ability to handle large amounts of bibliographic data. The program can analyse tens of thousands of publications and hundreds of thousands of citations, making it suitable for large-scale bibliometric studies. Additionally, VOSviewer is user-friendly and provides a range of visualization options, making it accessible to researchers without extensive programming experience.

## 3. Results and Discussions

### 3.1. Yearly Distribution and Growth Trend

Reviewing the number of studies published on year basis provides a good estimation for future trends in a specific area. The number of studies published since 1977 is shown in Figure 2. Only 15 studies were published until 1990 while the number of publications was around 40 between 1990 and 2000. As we discussed previously, developments in internet and GPS technologies increased and they started to be used by individuals and companies more commonly in the 90s. This might explain why 40 studies were published in only ten years while there were only 15 studies in the previous 23 years. There was a significant incline in the number of studies after 2000. The average number of studies published year basis between 2001 and 2006 was 12. The number of DVRP studies published each year has been more

than 30 since 2007 except in 2011, only 21 studies were carried out. The number of publications related to DVRP has skyrocketed in the past two years. Seventy-eight studies were conducted in 2020 while 92 studies have been published till November 2021. These numbers are much higher than the ten-year average number of 55. As we discussed earlier, Industry 4.0 has been significantly affecting manufacturing systems and related logistics and supply chain activities. Particularly, interconnected activities, real-time event handling, and decision-making have gained importance with Industry 4.0 together. Furthermore, online shopping has remarkably increased during the COVID-19 pandemic. Dynamic requests of customers and simultaneous pick-up and delivery activities are also important issues to handle. Since DVRP covers the aforementioned issues, it is quite reasonable that the number of DVRP studies has raised significantly compared to previous years.



**Figure 2.** The number of articles published since 1977

### 3.2. Distribution of Publications on a Country Basis

A total of 831 studies were carried out from 64 countries while the origin country of 29 publications was not identified. The highest number of studies were conducted in China (20.2% of all studies) while the US was ranked the second with 206 out of 831 studies. Germany and Canada were ranked third and fourth with 53 and 52 publications respectively in the DVRP area. Compared to the first two countries (approximately 40% of all studies carried out), only 10% of all publications were from these two countries. Following mentioned countries, the UK came with 35 studies while India and Italy shared the 6th rank with 34 publications. Subsequently, six countries published studies in the range of 20 and 29, in the following eleven countries, the number of published articles was in the range of 10 and 19, lastly, the number of countries that published between four and ten studies was 13. The remaining 26 countries contributed DVRP areas with 44 publications, 4.1% of all studies. The total number of studies contributed by each country was 1085. As we mentioned previously, the total number of published studies was 831. It meant that researchers from different countries collaborated to conduct and publish some DVRP studies. Approximately 60% of all studies were published in countries ranked in the first ten based on their nominal GDPs. This indicates that economically more developed countries have paid more attention to the DVRP area. It is not surprising that US and China have a significant number of studies on DVRP compared to the other countries when we consider giant US and China-based e-commerce and retail companies, such as Amazon and Alibaba, and related logistics and supply chain activities.

Although China had the greatest number of studies compared to the others, the total number of and average citations were relatively low. A total of 219 studies were cited 2808 times and the average citations per document were 12.8. On the other hand, a total of 206 studies conducted in the second-ranked US in Table 1 were cited 8333 times and the average citations per document were 40.5. Notably, Canada (average citations of 67.6), France (average citations of 82), Switzerland (average citations of

102.5), and Columbia (average citations of 181.3) were other countries in that published studies had high impacts in the DVRP area.

Links in Vosviewer software represent the number of connections among items. Total Link Strength (TLS) refers to the total number of connections of an item with others (Van Eck and Waltman, 2010). In other words, TLS represents a prediction of the collaboration of a country with others. The US had the highest collaborations compared to other countries according to Table 1. Following the US, Canada had a great number of collaborations with a TLS of 949. China, ranked number one in terms of the number of publications, placed third with a TLS of 551 as can be seen in Table 1.

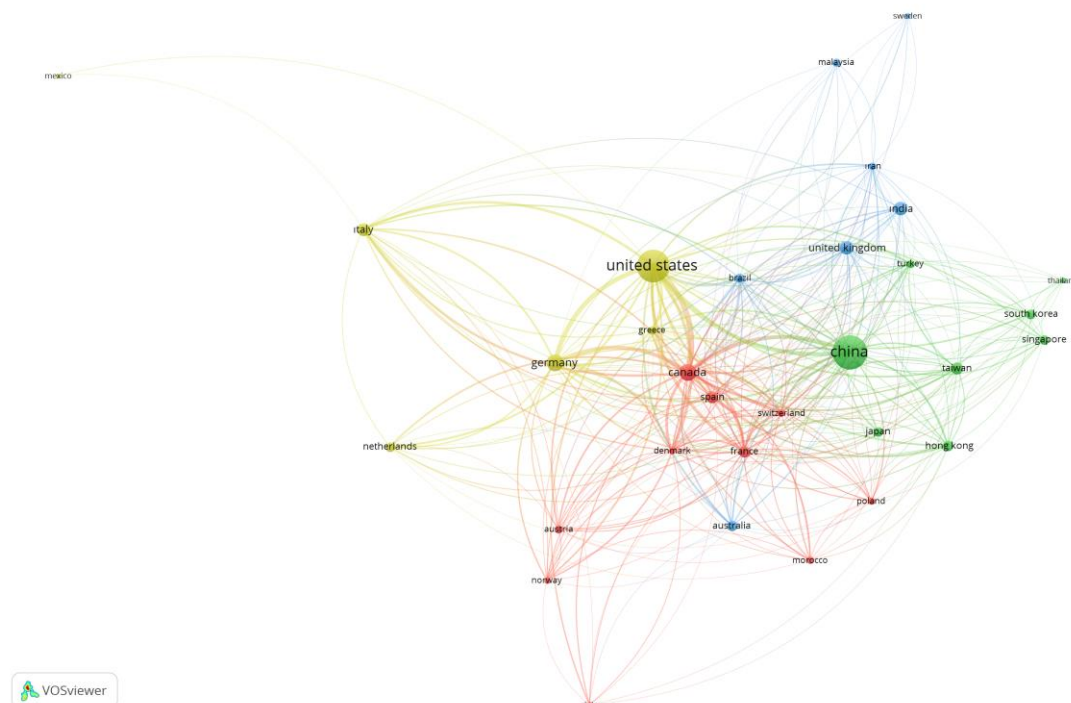
**Table 1.** Countries that published more than three studies (\* Due to its special administrative situation with China and distinct data in Vosviewer software, the data related to Hong Kong is shown separately in the table).

Countries	Number of Studies	Percentage (%)	Citations	Average Citation per Document	Nominal GDP	Total Link Strength
China	219	20.2	2808	12.8	2	551
US	206	19.0	8333	40.5	1	1165
Germany	53	4.9	1306	24.6	4	491
Canada	52	4.8	3515	67.6	9	949
UK	35	3.2	938	26.8	5	104
India	34	3.1	288	8.5	6	71
Italy	34	3.1	954	28.1	8	220
Spain	29	2.7	940	32.4	14	164
Taiwan	28	2.6	688	24.6	21	142
France	26	2.4	2133	82.0	7	390
Australia	21	1.9	705	33.6	12	112
Hong Kong*	20	1.8	715	35.8	42	128
South Korea	20	1.8	371	18.6	10	58
Singapore	19	1.8	373	19.6	41	58
Japan	18	1.7	356	19.8	3	49
Netherlands	18	1.7	793	44.1	17	104
Brazil	16	1.5	310	19.4	13	214
Greece	14	1.3	597	42.6	54	194
Turkey	13	1.2	207	15.9	20	102
Austria	12	1.1	202	16.8	28	100
Malaysia	12	1.1	225	18.8	38	16
Switzerland	11	1.0	1127	102.5	18	243
Morocco	10	0.9	31	3.1	62	78
Poland	10	0.9	113	11.3	22	81
Iran	10	0.9	187	18.7	26	84
Denmark	9	0.8	670	74.4	37	301
Norway	8	0.7	385	48.1	31	97
Sweden	7	0.6	415	59.3	23	12
Thailand	7	0.6	56	8.0	25	15
Pakistan	6	0.6	74	12.3	48	0
Russia	6	0.6	23	3.8	11	0
Chile	5	0.5	60	12.0	45	38

**Table 1 (Continue).** Countries that published more than three studies (\* Due to its special administrative situation with China and distinct data in Vosviewer software, the data related to Hong Kong is shown separately in the table).

Countries	Number of Studies	Percentage (%)	Citations	Average Citation per Document	Nominal GDP	Total Link Strength
Mexico	4	0.4	111	27.8	15	3
Belgium	4	0.4	283	70.8	24	52
Colombia	4	0.4	725	181.3	47	207
Portugal	4	0.4	27	6.8	51	77
Saudi Arabia	4	0.4	164	41.0	19	16
Israel	4	0.4	18	4.5	30	0
Other 26 Countries	44	4.1	613	13.9	...	156
Undefined	29	2.7	41	1.4	...	0

Figure 3 shows the country cooperation network on DVRP research. Countries in that at least three studies are published are taken into consideration. Moreover, Russia, Finland, Pakistan, Vietnam, and Israel are not considered since there are no research collaborations between those and other countries. The size of the circles demonstrates the number of publications, the larger circles, the more publications. The US had mostly collaborations with Germany, Greece, Italy, Mexico, Netherlands while Researchers from China collaborated with other researchers from Japan, Singapore, South Korea, Taiwan, Thailand, and Turkey. It is worth mentioning that most countries had strong collaborations with China, US, and Germany.



**Figure 3.** Country cooperation network on DVRP research (Countries in that at least three studies are published are taken into consideration. Moreover, Russia, Finland, Pakistan, Vietnam, and Israel are not considered since there are no research collaborations between those and other countries).

Table 2 shows the top institutions that published at least three studies with total citations, citations per document, and total link strengths. Unsurprisingly, H. M. Stewart School of Industrial and Systems

Engineering and Georgia Institute of Technology had the highest number of documents with School of Management, Xi'an Jiaotong University together. School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology has been one of the top schools in Industrial and System Engineering area for long years. Since VRP and its variants have been commonly studied in Operations Research and Industrial Engineering communities, it is expected that one of the top universities in this area has a significant number of publications. Although Georgia Institute of Technology published the same number of documents as Xi'an Jiaotong University, their publications were cited considerably more than the publications of Xi'an Jiaotong University. Following these two institutions, University of Michigan published four studies with average citations of 52.8.

**Table 2.** Top organizations published at least three studies.

#	Organization	Country	Documents	Citation	Citations per Document	Total Link Strength
1	H. M. Stewart School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta	United States	7	301	43	5
2	School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an	China	7	56	8	14
3	Department of Industrial and Operations Engineering, University of Michigan, Ann Arbor	United States	4	211	52.8	5
4	Laboratory for Information and Decision Systems, MIT, Cambridge	United States	3	528	176	2
5	Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge	United States	3	493	164.3	2
6	Department of Civil and Urban Engineering, New York University, New York	United States	3	125	41.7	1
7	Department of Industrial and Systems Engineering, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong	China	3	118	39.3	2
8	Department of Civil and Environmental Engineering, MIT, Cambridge	United States	3	103	34.3	4
9	Department of Management, California State University, Hayward	United States	3	103	34.3	4
10	Technische Universität Braunschweig, Braunschweig	Germany	3	64	21.3	0
11	Department of Systems & Naval Mechatronic Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan	Taiwan	3	59	19.7	0
12	Center for Control Dynamical Systems and Computation, University of California at Santa Barbara	United States	3	52	17.3	2
13	Department of Quantitative Methods, University of Brescia	Italy	3	48	16	0

**Table 2 (Continue).** Top organizations published at least three studies.

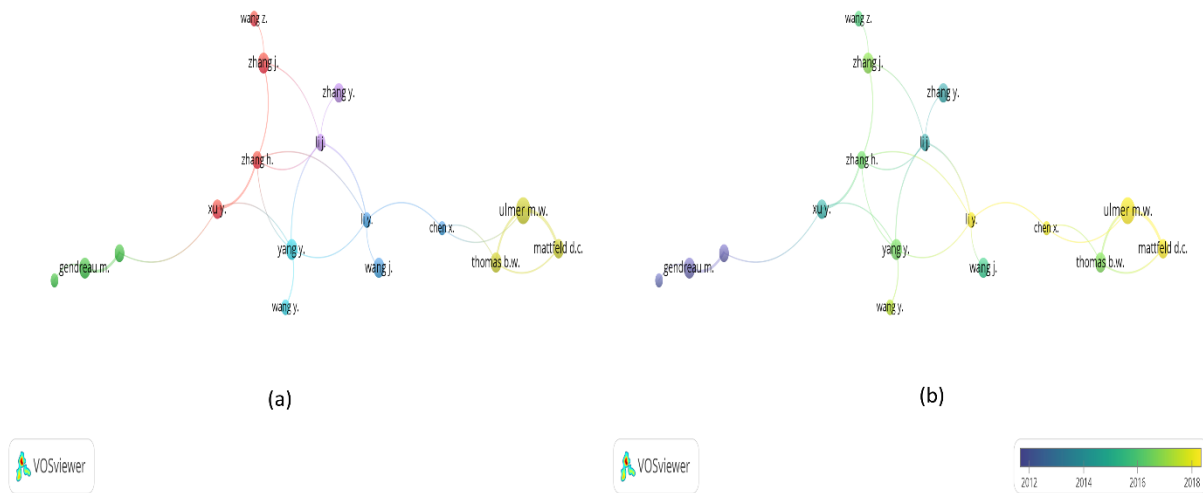
#	Organization	Country	Documents	Citation	Citations per Document	Total Link Strength
14	School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing	China	3	25	8.3	1
15	Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian	China	3	22	7.3	0
16	School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Jiaotong	China	3	17	5.7	0
17	College of Computer Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan	China	3	16	5.3	0
18	School of Economics and Management, Chongqing University, Chongqing	China	3	7	2.3	4

It is also worth mentioning that three different departments of MIT, Laboratory for Information and Decision Systems, Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, and Department of Civil and Environmental Engineering, were ranked fourth, fifth and eighth, respectively. If the ranking was made based on universities instead of institutions, MIT would be ranked the first with 9 publications, a total of 1124 citations, and average citations of around 377 per document. Lastly, US and China were the top countries whose institutions were highly specialized in the DVRP area.

### 3.3. Authors and Co-Authors Relationship

To be able to identify research groups that study particular research, authors and co-authors relationship analysis should be conducted. The only authors that published at least 8 studies are taken into consideration. Figure 4 shows six major research groups according to clustering and scores based on the publication years. The first research group we mention is the group of M. Ulmer, W. Thomas, and D. Mattfeld. M. Ulmer had the highest number of studies (number of documents = 18) as seen in Table 3. W. Thomas had 10 publications while 9 studies of D. Mattfeld had been published. In Figure 4, it seemed that W. Thomas mostly published their studies before Mattfeld and Ulmer. The average publication year of Thomas' studies was around 2016 while the average publication years of Mattfeld and Ulmer's studies were around 2019. M. Gendreau, M. Barkooui, and J. Potvin had also a strong collaboration as seen in Figure 4. Although M. Gendreau ranked second in terms of the number of publications, he ranked first based on the total citations of 1509 and average citations per document of 137.2. High citation numbers could be raised from publication years. The average publication year of Gendreau's studies was around 2010 while Potvin's studies had total citations of 899 and the average citations per publication of 112.4, the second highest among all researchers, was around 2007. Y. Xu, H. Zhang, J. Zhang, and Z. Wang formed another important research group. Compared to the aforementioned groups, Y. Xu, H. Zhang, J. Zhang, and Z. Wang made more collaborations with other research groups. When considering earlier publication times and collaborations with J. Potvin, it could be said that Y. Xu worked with J. Potvin in the same group for a while and he formed his research group after that. The next research group that had active collaborations with other groups, was the group of X. Chen, J. Wang, and Y. Li. J. Wang had 10 publications while Y. Li had 6 and X. Chen had 5 publications as can be seen in Table 3. J. Wang published his studies much earlier than the other related fellows. X. Chen and Y. Li published approximately the same years. Moreover, X. Chen was interconnected with M. Ulmer and W. Thomas. It could be concluded that they focused on similar issues and applications on DVRPs and could collaborate in the near future.





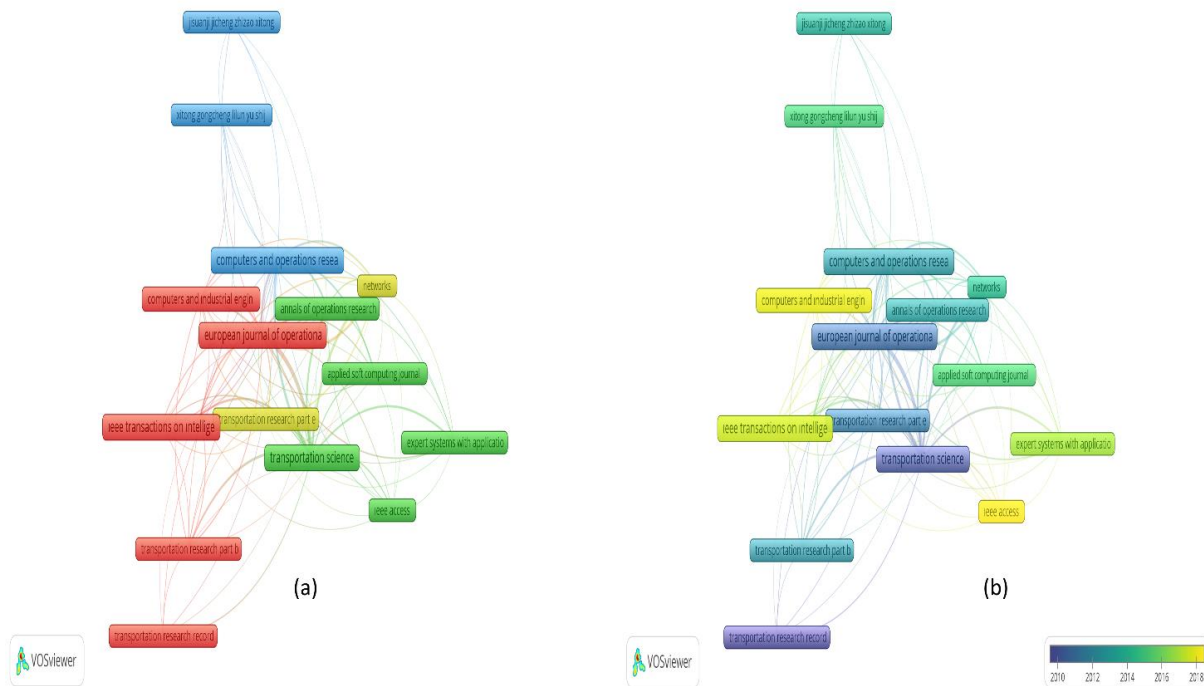
**Figure 4.** Six major research groups regarding clustering of authors and co-authors relationship (a) and scores based on the publication years (b).

**Table 3.** Authors published at least eight studies on DVRPs.

#	Author	Documents	Citation	Average Citations per Document	Total Link Strength
1	Ulmer M.W.	18	267	14.8	15
2	Gendreau M.	11	1509	137.2	6
3	Frazzoli E.	11	850	77.3	5
4	Yang Y.	11	146	13.3	2
5	Zhang J.	11	78	7.1	2
6	Thomas B.W.	10	302	30.2	8
7	Wang J.	10	171	17.1	0
8	Bullo F.	9	284	31.6	5
9	Zhang Y.	9	204	22.7	0
10	Xu Y.	9	191	21.2	6
11	Mattfeld D.C.	9	152	16.9	11
12	Potvin J.Y.	8	899	112.4	7
13	Jaillet P.	8	416	52	0
14	Zhang H.	8	79	9.9	7

### 3.4. Distribution and Source Relationship

Source relationship shows top journals published the related studies and the relationship based on the number of citations they have made to each other (Figure 5). Table 4 enlists top journals with the total and average citations per document, impact factors, and total link strengths. Only journals that at least eight and more studies on the DVRP area have been published are taken into consideration.



**Figure 5.** Source and citation relationship (a) and average publication years (b) for journals published at least eight studies related to DVRPs.

First, the DVRP studies were mostly published in journals related to transportation as expected. Moreover, four important journals in Industrial Engineering and Operations Research areas, European Journal of Operational Research, Computers and Operations Research, Computers and Industrial Engineering, and Annals of Operations Research, published almost 32% of all publications as can be seen in Table 4. It was also expected since developing solution methods for VRPs and variants have been highly popular in Industrial Engineering and Operations Research Community for long years. The journal published the highest number of documents related to DVRPs was IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Following this journal, Transportation Science, European Journal of Operational Research, and Computers and Operations Research ranked second, third and fourth with 27, 26, and 26 documents, respectively. However, European Journal of Operational Research and Computers and Operations Research seemed to have great impacts in terms of the average citations per document. One reason could be that the average publication years for studies in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems was 2017 while it was 2011 for European Journal of Operational Research and 2012 for Computers and Operations Research. As can be seen in Figure 5, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Computers and Industrial Engineering, and IEEE Access journal published more DVRP research recently. Based on the total link strength, it was also said that Transportation Science and European Journal of Operational Research were cited more from a variety of journals.

**Table 4.** Top journals in which eight and more studies have been published.

#	Source	Documents	Citations	Average Citations per Document	Impact Factor (2020)	Total Link Strength
1	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	28	1032	36.9	8.41	26
2	Transportation Science	27	1942	71.9	4.12	259
3	European Journal of Operational Research	26	2452	94.3	5.33	208
4	Computers and Operations Research	26	2391	92.0	4.01	139
5	Transportation Research Part C: Emerging Technologies	16	766	47.9	8.09	52
6	Computers and Industrial Engineering	14	329	23,5	5.43	61
7	Annals of Operations Research	13	789	60.7	2.58	83
8	Transportation Research Part B: Methodological	11	581	52.8	5.60	46
9	Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review	11	461	41.9	6.88	59
10	IEEE Access	11	105	9.5	3.37	21
11	Expert Systems with Applications	10	193	19.3	6.95	28
12	Transportation Research Record	10	156	15.6	1.56	13
13	Applied Soft Computing Journal	9	519	57.7	6.73	35
14	IEEE Transactions on Vehicular Technology	9	494	54.9	5.98	0
15	Networks	9	278	30.9	5.06	93
16	Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian	9	64	7.1	0.23	16
17	Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong	8	58	7.3	0.89	9

### 3.5. Documents and Citations Relationship

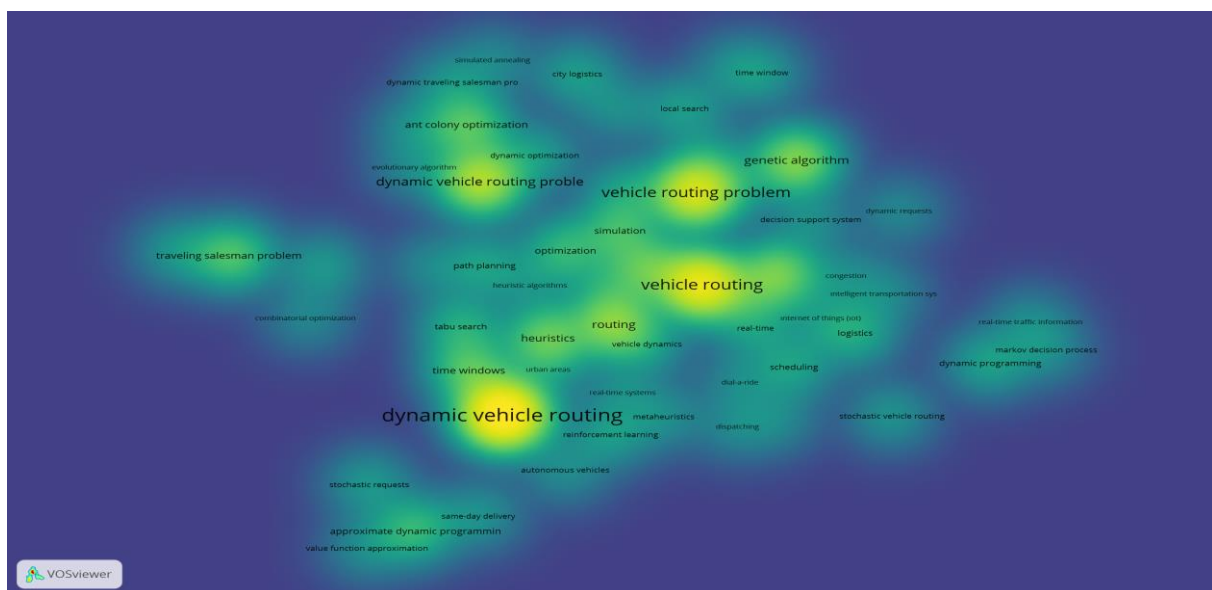
Understanding documents and citation relationships is helpful to identify impactful studies that many other researchers have cited. Table 5 demonstrates publications cited at least 200 times by other studies. The review study of Pillac (2013) had the most citations compared to the other studies. The other review studies of Psaraftis (1995) and Berbeglia (2010) were highly cited as well. It could be expected that review studies had the highest number of citations. However, the study of Alonso-Mora (2017) had a considerable number of citations even though it proposed a mathematical model for a real-time high-capacity ride-sharing problem and was published later than the mentioned review studies. Moreover, it could be mentioned that the studies of Gendreau (1999) and Bent and Van Hentenryck (2004) proposed new solution methodologies for DVRPs had great impacts on the literature.

**Table 5.** Top studies cited at least 200 times.

#	Document	Author	Year	Citations	Links
1	Dynamic vehicle routing: Status and prospects	Psarafitis H.N.	1995	345	6
2	Drive: Dynamic routing of independent vehicles	Savelsbergh M.	1998	218	4
3	Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching	Gendreau M.	1999	298	7
4	Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies	Ghiani G.	2003	212	5
5	Scenario-based planning for partially dynamic vehicle routing with stochastic customers	Bent R.W.	2004	280	4
6	A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times	Haghani A.	2005	233	2
7	Ant colony system for a dynamic vehicle routing problem	Montemanni R.	2005	270	4
8	Dynamic pickup and delivery problems	Berbeglia G.	2010	395	5
9	A review of dynamic vehicle routing problems	Pillac V.	2013	663	9
10	On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment	Alonso-Mora J.	2017	428	2

### 3.6. Co-Occurrence Analysis (Keywords)

Figure 6 demonstrates the density visualization map based on the co-occurrence of keywords. The keywords that occurred at least 5 times in the studies are taken into consideration. Similar keywords such as “Heuristic Algorithm” and “Heuristic Algorithms” are detected and edited. The keyword, “Dynamic Vehicle Routing” and its variants quite occurred with other keywords as can be seen in Figure 6. Same-day delivery, logistics, real-time systems, dial-a-ride, etc. were closely related to DVRP keywords since DVRPs were applied in these areas. The keywords of heuristic, local search, tabu search, evolutionary algorithms, and genetic algorithm occurred with DVRPs since heuristic and metaheuristic algorithms were used frequently to solve DVRPs. On the other hand, machine and reinforcement learning methods started to be involved in DVRPs as new strategies.

**Figure 6.** The density visualization map based on the co-occurrence of keywords.

#### 4. Conclusion and Discussion

Dynamic Vehicle Routing Problems (DVRP) have attracted great attention for the last couple of decades since two important components of DVRP, GPS and mobile smart devices, have been significantly developed during this time. On the other hand, business models including DVRP applications such as ride-sharing, ride-hailing, and crowdsourced delivery are getting more popular day by day. Moreover, the ongoing pandemic for almost two years has changed supply chain and logistic activities to answer simultaneous and online data of requests and deliveries. Therefore, it can be expected that the applications and solutions in the DVRP area continue the inclining trend soon. To be able to understand the past studies, the top authors, the most important institutions, countries, etc., we conduct a bibliometric analysis related to DVRPs in this study. Bibliometric studies quite help researchers to understand a substantial amount of knowledge in a specific area in a relatively short time. These studies show relationships between authors, citations, institutions, and countries as well as recent trends in a specific topic.

VOSviewer software developed by van Eck and Waltman was employed to carry out the bibliometric analysis and mapping. A total of 1793 documents were retrieved from the Scopus database in November 2021. Only articles, 831 of all, were taken into consideration. Only 15 studies were published until 1990 while the number of publications was around 40 between 1990 and 2000. The number of publications significantly increase since then. The most important reason can be developments of technological necessities such as GPS and mobile smart devices to increase applications of DVRP. Particularly, the numbers have skyrocketed for the last two years due to the possible effect of the ongoing pandemic. The highest number of studies were conducted in China (20.2% of all studies) while the US was ranked the second with 206 out of 831 studies. Germany and Canada were ranked third and fourth with 53 and 52 publications respectively in the DVRP area. Top organizations that published more than three studies in the DVRP area were mostly located in the US. H. M. Stewart School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology has the highest number of documents with School of Management, Xi'an Jiaotong University together. Given the presence of prominent e-commerce and retail companies like Amazon and Alibaba, along with their associated logistics and supply chain operations, it is understandable that the United States and China exhibit a substantial volume of research studies on the Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP), surpassing that of other countries. Considering density of research and development activities in DVRP applications in US and China, it is not surprising that some research institutions in these countries have emerged prominently worldwide. The DVRP studies were mostly published in journals related to transportation as expected. Almost 32% of all publications related DVRPs have been published by four important journals in Industrial Engineering and Operations Research areas, European Journal of Operational Research, Computers and Operations Research, Computers and Industrial Engineering, and Annals of Operations Research. This was not surprising either, as the Industrial Engineering and Operations Research community has long shown great interest in developing solution methods for VRPs and their variants. The study entitled, "A review of dynamic vehicle routing problems", published by Pillac et al. (2013), is the most cited and linked study with 663 citations and 9 links to other publications in this study. From the application side, ride-sharing, ride-hailing, and crowdsourced delivery co-occur with DVRPs mostly while heuristic and metaheuristic solution approaches frequently co-occur with DVRPs.

In future studies, the other databases included especially Web of Science can be used for the bibliometric analysis. Moreover, SCIMAP, Cite Space, R, and Python can be considered for visualization purposes. Finally, one can focus on specific applications and solution methods in DVRPs instead of reviewing the broad research area as being in this study.

#### Statement of Support and Acknowledgment

There is no institution or organization to thank.

#### Conflict of Interest Statement, if any

The authors have no conflict of interest to disclose.

## References

- Abdirad, M., Krishnan, K., Gupta, D.,** (2020). A two-stage metaheuristic algorithm for the dynamic vehicle routing problem in Industry 4.0 approach. *Journal of Management Analytics*, 8(1), 69–83.
- Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M., Wang, X.** (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: A review. *European Journal of Operational Research*, 223(2), 295–303.
- Alonso-Mora, J., Samaranayake, S., Wallar, A., Frazzoli, E., Rus, D.,** (2017). On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(3), 462–467.
- Arslan, A. M., Agatz, N., Kroon, L., Zuidwijk, R.** (2019). Crowdsourced delivery - a dynamic pickup and delivery problem with ad hoc drivers. *Transportation Science*, 53(1), 222–235.
- Bent, R. W., & van Hentenryck, P.** (2004). Scenario-Based Planning for Partially Dynamic Vehicle Routing with Stochastic Customers. *Operations Research*, 52(6), 977–987.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., Laporte, G.** (2010). Dynamic pickup and delivery problems. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 8–15.
- Bonilla, C. A., Merigó, J. M., & Torres-Abad, C.** (2015). Economics in Latin America: a bibliometric analysis. *Scientometrics*, 105, 1239-1252.
- Bornmann, L., & Leydesdorff, L.** (2014). Scientometrics in a changing research landscape: bibliometrics has become an integral part of research quality evaluation and has been changing the practice of research. *EMBO reports*, 15(12), 1228-1232.
- Chang, T. S., & Yen, H. M.** (2012). City-courier routing and scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 223(2), 489–498.
- Chen, C.** (2017). Science mapping: A systematic review of the literature. *Journal of Data and Information Science*, 2(2), 1-40.
- Chiu, W. T., & Ho, Y. S.** (2007). Bibliometric analysis of tsunami research. *Scientometrics*, 73(1), 3-17.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H.** (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- Demirbilek, M.** (2021a). A-Static-Periodic Solution Strategy for Dynamic Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery. *Acta Infologica*, 5(1), 1–12.
- Demirbilek, M.** (2021b). A metaheuristic solution approach with two construction heuristics for vehicle routing problem with simultaneous Linehauls and Backhauls. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(3), 226–236.
- Demirbilek, M. & Özulukale Demirbilek, S.** (2022). İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANLAYIŞININ ENDÜSTRİ 4.0 KAPSAMINDA DEĞİŞİMİ. *Multidisipliner Yaklaşımlarla Endüstri 4.0*, 139.
- Demirbilek, M., Branke, J., & Strauss, A. K.** (2021). Home healthcare routing and scheduling of multiple nurses in a dynamic environment. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 33(1), 253–280.
- Dewinter, M., Vandeviver, C., Vander Beken, T., Witlox, F.** (2020). Analysing the police patrol routing problem: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3).
- Dial, R. B.** (1995). Autonomous dial-a-ride transit introductory overview. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(5), 261–275.
- Feng, G., Kong, G., Wang, Z.** (2020). We are on the Way: Analysis of On-Demand Ride-Hailing Systems. *Manufacturing & Service Operations Management*, 23(5), 1237–1256.
- Fikar, C., & Hirsch, P.** (2017). Home health care routing and scheduling: A review. *Computers and Operations Research*, 77, 86–95.

- Gaviria-Marin, M., Merigó, J. M., & Baier-Fuentes, H.** (2019). Knowledge management: A global examination based on bibliometric analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 140, 194–220.
- Gendreau, M., & Potvin, J.Y.** (1998). Dynamic Vehicle Routing and Dispatching. *Fleet Management and Logistics*, 115–126.
- Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J. Y., Taillard, É.** (1999). Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching. *Transportation science*, 33(4), 381–390.
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., Musmanno, R.** (2003). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1–11.
- Haghani, A., & Jung, S.** (2005). A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times. *Computers & Operations Research*, 32(11), 2959–2986.
- Han, H., & Ponce-Cueto, E.** (2015). Problema de programación de rutas en la recogida de residuos: Revisión de la literatura. *Promet - Traffic - Traffico*, 27(4), 345–358.
- Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, J. Y.,** (2007). Planned Route Optimization for Real-Time Vehicle Routing. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, 38, 1–18.
- Koç, Ç., & Laporte, G.** (2018). Vehicle routing with backhauls: Review and research perspectives. *Computers and Operations Research*, 91, 79–91.
- Kumar, S., & Rathi, S.** (2019). Bibliometric analysis of open access journal articles published in the field of library and information science during 2008-2017. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 39(1), 26-31.
- Laporte, G.** (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408–416.
- Larsen, A., Madsen, O. B. G., Solomon, M. M.,** (2008). Recent Developments in Dynamic Vehicle Routing Systems. *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series*, 43, 199–218.
- Larsen, A., Madsen, O., Solomon, M.** (2002). Partially dynamic vehicle routing models and algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, 53(6), 637–646.
- Martínez-López, F. J., Merigó, J. M., Valenzuela-Fernández, L., & Nicolás, C.** (2018). Fifty years of the European Journal of Marketing: a bibliometric analysis. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 439-468.
- Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., Donati, A. V.** (2005). “Ant Colony System for a Dynamic Vehicle Routing Problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10(4), 327–343.
- Ojeda Rios, B. H., Xavier, E. C., Miyazawa, F. K., Amorim, P., Curcio, E., Santos, M. J.** (2021). Recent dynamic vehicle routing problems: A survey. *Computers and Industrial Engineering*, 160.
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., Medaglia, A. L.** (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1–11.
- Psaraftis, H. N.** (1980). A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem. *Transportation Science*, 14(2), 130–154.
- Psaraftis, H. N.** (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61(1), 143–164.
- Rios, B. H. O., Xavier, E. C., Miyazawa, F. K., Amorim, P., Curcio, E., & Santos, M. J.** (2021). Recent dynamic vehicle routing problems: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107604.
- Ritzinger, U., Puchinger, J., Hartl, R. F.** (2016). A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, 54(1), 215–231.
- Savelsbergh, M., & Sol, M.** (1998). Drive: Dynamic routing of independent vehicles. *Operations Research*, 46(4), 474–490.

- Talarico, L., Meisel, F., Sörensen, K.** (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers and Operations Research*, 56, 120–133.
- Tlili, T., Harzi, M., Krichen, S.** (2017). Swarm-based approach for solving the ambulance routing problem. *Procedia Computer Science*, 112, 350–357.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.)** (2014). Vehicle routing: problems, methods, and applications. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 463.
- Ulmer, M. W., Thomas, B. W., Campbell, A. M., Woyak, N.** (2021). The restaurant meal delivery problem: Dynamic pickup and delivery with deadlines and random ready times. *Transportation Science*, 55(1), 75-100.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L.** (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- van Eck, N. J., & Waltman, L.** (2017). Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics*, 111(2), 1053-1070.
- Voccia, S. A., Campbell, A. M., Thomas, B. W.** (2019). The same-day delivery problem for online purchases. *Transportation Science*, 53(1), 167–184.
- Waltman, L., van Eck, N. J., & Noyons, E. C.** (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *Journal of Informetrics*, 4(4), 629-635.
- Wilson, N. H. M., & Colvin N. J.** (1977). Computer control of the Rochester dial-a-ride system. *Massachusetts Institute of Technology, Center for Transportation Studies*, 79.



## Research Article

# U-Net-Based detection of road and lane markings from high-resolution images

Oğuzhan KATAR<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Software Engineering, Technology of Faculty, Fırat University, Elazığ, Turkey

\*Correspondence: [okatar@firat.edu.tr](mailto:okatar@firat.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1172992

**Abstract:** With technological advancements in hardware, many autonomous systems are now utilized in daily life. Autonomous vehicles, designed for safe transportation, rely on sensors and cameras for dynamic environmental control. Accurate detection and classification of road and lane markings from high-resolution images are crucial for ensuring safe and efficient operation of autonomous vehicles, enhancing their performance in dynamic environmental control, and ensuring secure travel. To process the image data received from their cameras and transform it into meaningful information, artificial intelligence-based approaches are highly effective. In this study, ResNet-based U-Net method is proposed that can automatically detect and classify areas of road and lane markings from high-resolution images. A publicly available dataset was customized for the model's training, validation, and testing phases. The pre-processing phase designed to include high-resolution images in the training of segmentation model is explained. Dataset samples are split into 70% training, 20% validation, and 10% testing. The early stopping function was implemented during the training phases for four different U-Net models with ResNet architectures in the encoder network. The numerical data of the training and validation phases, which were carried out in accordance with the multi-class semantic segmentation method, were shared. The test phase revealed that the ResNet-101 U-Net model achieved the highest mean Intersection over Union (mIoU) value, with a rate of 86.75%. With this method, the classification and detection of road and lane markings areas can help the dynamic environment control of autonomous vehicles.

**Keywords:** Autonomous vehicles, semantic segmentation, U-Net, auto-detection

## Yüksek çözünürlüklü görüntülerden yol ve şerit işaretlerinin U-Net tabanlı tespiti

**Özet:** Donanımdaki teknolojik gelişmelerle birlikte artık günlük hayatta birçok otonom sistem kullanılmaktadır. Güvenli ulaşım için tasarlanan otonom araçlar, dinamik çevre kontrolü için sensörlere ve kameralara güveniyor. Yüksek çözünürlüklü görüntülerden yol ve şerit işaretlerinin doğru tespiti ve sınıflandırılması, otonom araçların güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak, dinamik çevre kontrolündeki performanslarını artırmak ve güvenli seyahat sağlamak için çok önemlidir. Kameralarından alınan görüntü verilerini işlemek ve anlamlı bilgilere dönüştürmek için yapay zekaya dayalı yaklaşımlar oldukça etkilidir. Bu çalışmada, yüksek çözünürlüklü görüntülerden yol ve şerit işaretlerinin alanlarını otomatik olarak algılayabilen ve sınıflandırabilen ResNet tabanlı U-Net yöntemi önerilmiştir. Modelin eğitim, doğrulama ve test aşamaları için herkese açık bir veri kümesi özelleştirildi. Segmentasyon modelinin eğitiminde yüksek çözünürlüklü görüntüleri içerecek şekilde tasarlanan ön işleme aşaması açıklanmaktadır. Veri kümesi örnekleri% 70 eğitim,% 20 doğrulama ve% 10 teste bölünmüştür. Erken durdurma işlevi, kodlayıcı ağında ResNet mimarisine sahip dört farklı U-Net modeli için eğitim aşamalarında uygulandı. Çok sınıflı anlamsal segmentasyon yöntemine uygun olarak gerçekleştirilen eğitim ve validasyon aşamalarının sayısal verileri paylaşıldı. Test aşaması, ResNet-101 U-Net modelinin% 86,75 oranıyla Birleşim üzerinden en yüksek ortalama Kesişme (mIoU) değerine ulaştığını ortaya koydu. Bu yöntemle yol ve şerit işaretleme alanlarının sınıflandırılması ve tespiti, otonom araçların dinamik ortam kontrolüne yardımcı olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom araçlar, anlamsal bölütleme, U-Net, otomatik tespit

## 1. Introduction

The transportation story, which started with the invention of the wheel in 3500 BC, has continued with various vehicles to today (Kaushal et al. 2012). With the industrial revolution, steam vehicles pioneered a great change in the field of transportation. The development process, which continues with internal combustion engines, has gained great momentum today with high-tech vehicles such as autonomous vehicles, flying cars, and high-speed trains (Winner and Wachenfeld, 2016). Autonomous vehicles are vehicles that can travel without human intervention. Autonomous vehicles, which automatically detect roads, lanes, and objects by processing data received from many sensors and cameras with the help of artificial intelligence, perform dynamic environmental control during their travels (Milakis, 2019). Due to the size and complexity of the data processed per unit of second, computers with high processing capacity are used in autonomous vehicles.

With the development of hardware technology, artificial intelligence has become popular. Artificial intelligence-based systems, which are used in many areas such as health, education, defense industry, and transportation, can make decisions without the need for any human intervention (Zhang and Lu, 2021). The main purpose of the development of such systems is to minimize the human factor. Many negatives occur in the transportation sector due to fatigue, carelessness, and similar human factors. Mistakes such as lane crossing and incorrect overtaking can cause the death of drivers and other people inside the vehicle (Stanton and Salmon, 2009). The widespread use of autonomous vehicles, thanks to artificial intelligence-based solutions, can help make travel more reliable and efficient. However, infrastructure and superstructure needs on these roads must be met (Henschke, 2020). Because one of the most important parameters for autonomous vehicles is road images taken with the help of cameras. Autonomous systems cannot provide the expected efficiency if the lane markings are below the expected standards or if they are absent.

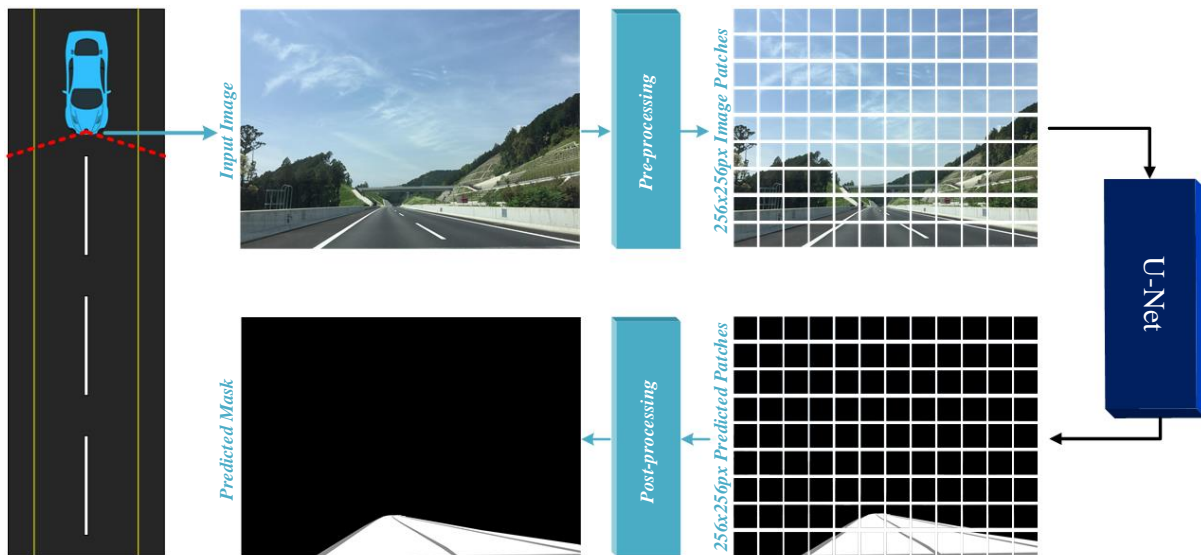
The image data from the cameras alone is not enough for autonomous vehicles to decide. These data need to be processed and transformed into information. Classical methods and artificial intelligence-based solutions are frequently used for the processing of image data. Deng and Wu (2018) proposed a lane detection method based on the Hough Transform. Road images are grayed out by pre-processing steps. Canny edge detection operator is used to obtain road marks information from grayscale images. The Hough transform based on pole angle and pole radius constraints is used to obtain the double edges of the road marks. The results show that mark detection is fast and accurate using the double-edged subtraction method. He et al. (2004) proposed a road area detection algorithm based on color images. This algorithm consists of two modules, which estimate the boundaries according to the density image and detect the path areas from the full-color image. In the first module, using the color components of the road surfaces, the mean and variance of the Gaussian distribution for the left and right road boundaries are calculated. The second module effectively extracts the path area and reinforces the boundaries that best fit the path extraction result. Tests using real road images confirmed the effectiveness of the proposed method. Yadav et al. (2017) proposed a road segmentation approach constructed by a combination of deep convolutional neural networks with a color line model based on a conditional random field (CRF) framework. In this technique, convolutional neural networks learn the texture of the road, while the pattern of colored lines allows adaptation to changing lighting conditions. The researchers, who completed the test processes on publicly available datasets, examined precision and recall values as performance evaluation metrics, as they were only interested in the detection of paths. The method they proposed reached 93.31% precision and 94.99% recall. Dewangan and Sahu (2021) proposed a deep learning-based approach to segment road and non-road areas. This approach uses U-Net, SegNet, and FCN-32 models with fully convolutional network architecture. Experimental studies were carried out on a publicly available dataset. This dataset contains 101 images with a resolution of 960×720 pixels (px). The number of images was increased to 909 using various data augmentation techniques. Models were trained under the same conditions for 100 iterations. When the test predictions were examined, it was stated that the U-Net model reached an average IoU value of 94% and produced better results compared to other models. Li et al. (2021) proposed a model called Lane-DeepLab based on semantic segmentation to detect multi-class lane lines in unmanned driving scenarios. The proposed model is based on the DeepLabv3+ architecture. The encoder-decoder network of the model has been redesigned to better detect lane lines. The model is trained for 25 epochs using cross-

entropy loss and a learning rate of 0.005. As a result of the tests performed on publicly available dataset samples, it was observed that the model reached an average IoU value of 79.23%. The labelling processes carried out to collect real images of traffic and to indicate road areas in these images are very costly in terms of time and resources. For this reason, the number of publicly available datasets for related studies is limited. Among the publicly available datasets used in studies in the literature are datasets such as Cityscapes, KITTI, and CamVid (Cordts et al, 2016; Geiger et al, 2013; Brostow et al, 2009).

In the existing literature, studies on road and lane detection can be classified into two categories: those focused on determining road areas and those focused on determining lane marking areas. However, the number of studies that can simultaneously detect both road and lane markings is limited. A major limitation of such studies, which require a multi-class segmentation process, is the need for input images to be at a fixed resolution. Nevertheless, given the diversity of camera equipment used today, limiting the image resolution reduces the generality and scope of the studies. To address this issue, this study proposes a method for detecting road and lane markings on high-resolution images on a pixel-by-pixel basis without any fixed resolution requirement. The proposed method aims to achieve high performance with minimal training resources by utilizing pre-trained convolutional neural networks in the encoder network of the U-Net architecture. The rest of this paper is organized as follows. Section 2 contains information about the method proposed for this study, the used dataset, the deep learning model, and the performance metrics used in semantic segmentation studies. The numerical values obtained during the training phase of the model and the test outputs are given in Section 3. The conclusion part of the study is in Section 4.

## 2. Material and Methods

A system has been designed for automatic detection of road and lane markings areas by the deep learning model on the images taken from the cameras placed in the vehicles. The block diagram of this system is given in Figure 1.



**Figure 1.** A block representation of the proposed method in this study.

In the proposed method, the image giving as input to the U-Net model is segmented on a pixel-by-pixel basis in the output layer. The U-Net architecture is equipped with skip connections between the contracting and expanding paths, enabling the network to retain spatial information during the segmentation process. This feature is particularly beneficial for detecting road and lane markings, as these markings may exhibit intricate shapes and textures necessitating meticulous segmentation. Additionally, the U-Net architecture possesses a relatively low parameter count compared to alternative segmentation architectures, resulting in computational efficiency and suitability for real-time applications. As a result, it is ensured that driverless vehicles can automatically detect road and lane

markings areas. In such systems, which aim to minimize the human factor, a zero margin of error is expected. Therefore, deep learning models with high success rates are indispensable. One of the most critical components in achieving deep models with high success rates is the datasets used for model training, validation, and testing. Unlike classification studies, segmentation studies require mask images in addition to the original images, which denote the areas containing meaningful information in the original images. Creating mask images manually for high-resolution images is very costly. For this reason, the number of publicly available datasets is limited.

### 2.1. Dataset

The Mapillary Vistas dataset was used in the training, validation, and testing stages of this study (Neuhold et al., 2017). The dataset contains high-resolution images. The dataset includes traffic images captured from all over the world in different weather, season, and daylight conditions. These images were captured from different imaging devices, including mobile phones, tablets, action cameras, and professional cameras. In segmentation studies, the objects in the images are distinguished from the others due to their pixel values. For this reason, labeling and mask images were created for high-resolution dataset samples by the researchers. Labeling is performed in a dense and fine-grained style by using polygons for delineating individual objects. In the labeling process, classes with different pixel values are defined for 66 objects. These pixel classes and their distribution in the dataset are shown in Figure 2.

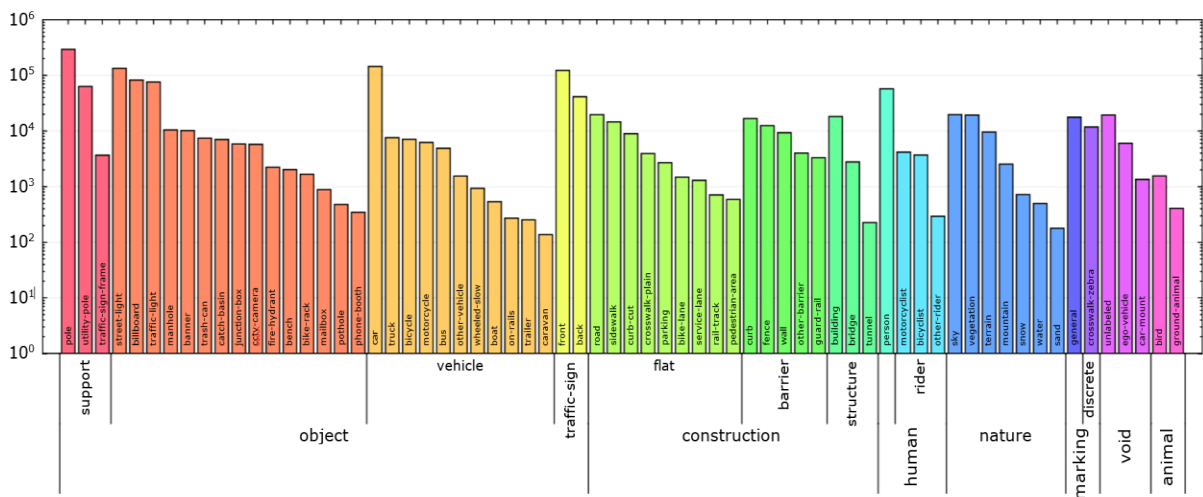


Figure 2. Class distribution in the dataset (Neuhold et al., 2017).

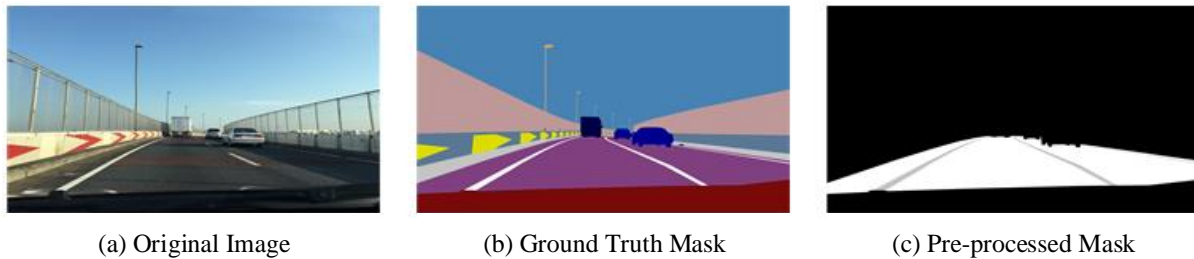
The dataset samples do not have a fixed resolution value. The images in the dataset have resolution values in the range of 640×480px and 6528×3680px. Randomly selected samples of the original images and mask images from the dataset are shown in Figure 3.



**Figure 3.** The dataset samples.

## 2.2. Pre-processing

There are pixel values corresponding to 66 different objects in the mask images. In this study, since it is desired to detect only road and lane markings, the pixel values of other objects should be removed from the mask images. With the help of the pixel-based value change process, the road areas are assigned as '1', the lane markings areas as '2' and the pixel values of all other objects are assigned as '0'. In Figure 4, the result obtained after applying pixel-based value change to the ground truth mask image is given.



**Figure 4.** Pixel-based value changing method.

All of the mask images have been adapted to the multi-class semantic segmentation concept thanks to the pixel-based value change process. Mask images are converted into 8-bit single-channel and '.png' data format. In this way, the area occupied by the mask images in the memory has been reduced. Since the resolutions of the images in the dataset are high and unequal, they cannot be used directly in model training. There are hardware limitations, and the input size of the model must be a constant value. To overcome this problem, there are two alternatives, resizing and image cropping. The loss of information experienced when resizing high-resolution images is enormous. For this reason, resizing is not preferred in semantic segmentation studies. The default input size of the U-Net model is  $256 \times 256$ px. Thanks to the image cropping method, sub-images can be created equal to the default input size of the U-Net model. Starting from the first pixel, the first sub-image is obtained, covering 256 frames on the x-axis and 256 frames on the y-axis. This process is then repeated, advancing until it covers the last pixel of the image. If the size of the original image is not an exact multiple of  $256 \times 256$ , the padding method is used. In this way, high-resolution images can be included in model training without loss of

information. The specified method is also applied for mask images. In the sub-mask images obtained, images that do not contain any road or lane markings areas may occur. Therefore, images with a pixel value of only '0' and which do not contain any meaningful objects for our study may cause problems in model training. To avoid these disadvantages, mask images consisting of only '0' and their corresponding original images were filtered out and were not included in the training, validation, and testing stages of the model. The flowchart of the proposed cropping and filtering approach is shown in Figure 5.

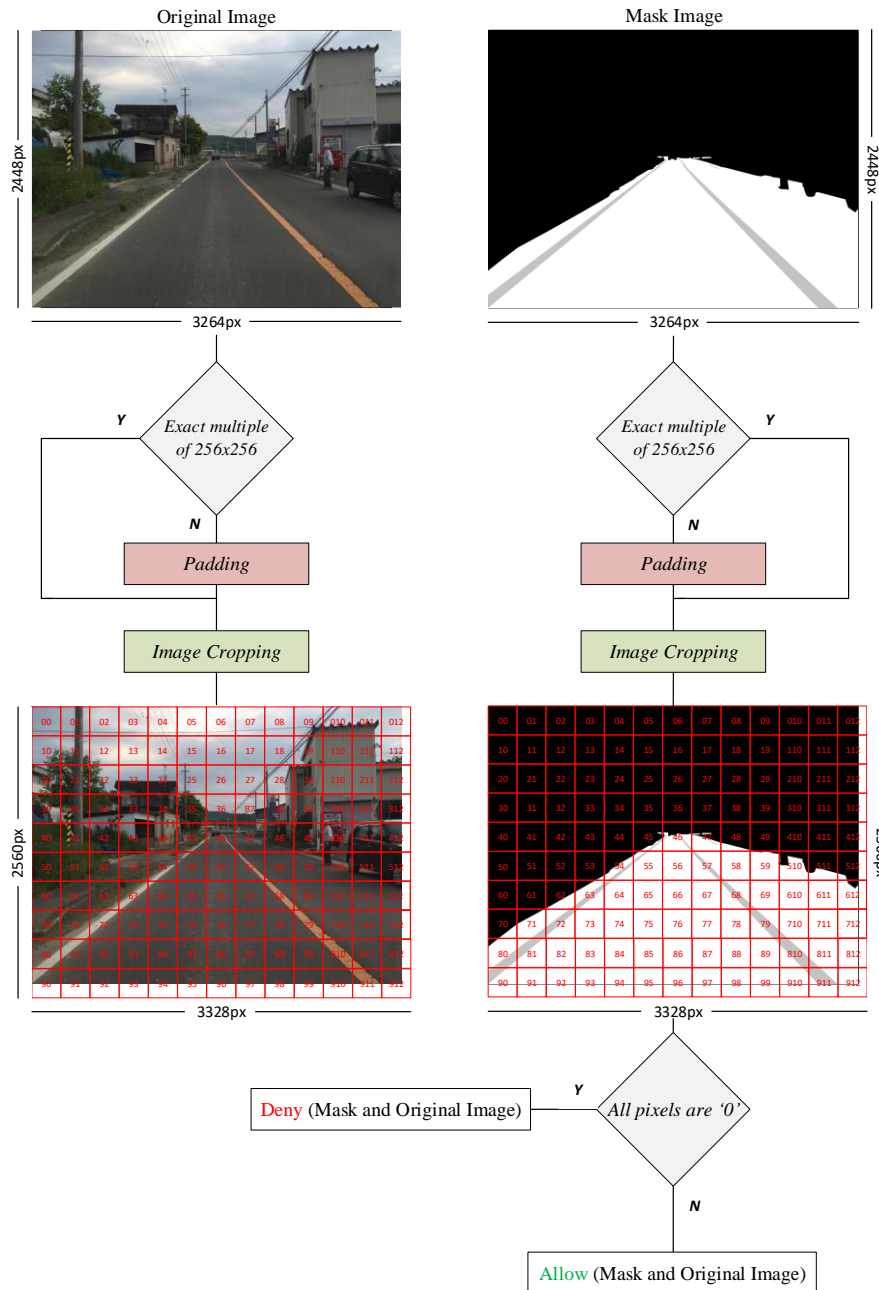
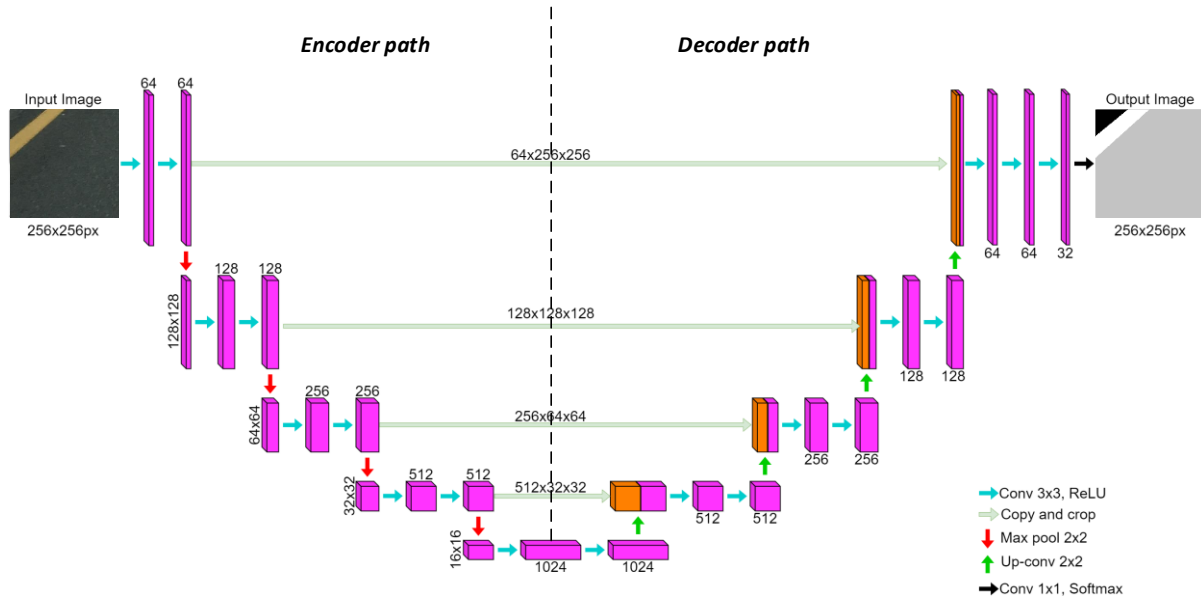


Figure 5. The proposed cropping and filtering approach.

### 2.3. U-Net

The U-Net is an architecture for convolutional neural networks that was initially introduced for the purpose of performing image segmentation tasks, wherein the objective is to assign a class label to each pixel in an image (Ronneberger et al., 2015). The U-Net architecture derives its name from its "U" shape.

It comprises two main components: an encoding path and a decoding path. A block representation of the U-Net architecture is given in Figure 6.



**Figure 6.** The U-Net architecture.

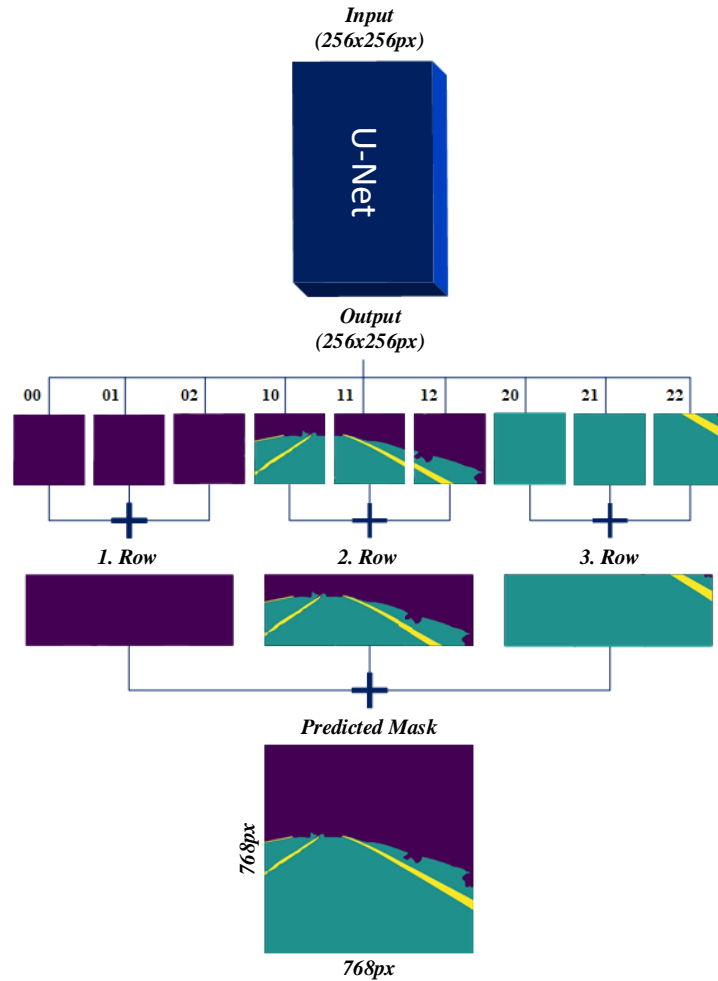
The encoder network comprises several layers, each of which performs a specific function in the feature extraction process. The first layer is typically a convolutional layer, which applies a set of filters to the input image to produce a set of feature maps. The filters in this layer are designed to capture low-level features, such as edges and corners, that are present in the input image. In addition to the convolutional layers, the encoder network also incorporates max pooling operations. Max pooling is a downsampling technique that reduces the spatial dimensions of the feature maps, while retaining their important features. Max pooling is typically applied after each convolutional layer, and reduces the spatial dimensions of the feature maps by a factor of two. This results in a smaller feature map with fewer parameters, which speeds up the computation and reduces the risk of overfitting. The output of the encoder network is a set of high-level feature maps that capture the most important features of the input image. These feature maps are then passed to the decoder network, which forms the expanding path of the U-Net model.

The decoder network is an essential component of a segmentation model that recovers the spatial dimensions of the feature maps created by the encoder network and generates a segmentation map of the input image. It achieves this through transposed convolutional layers that increase the spatial dimensions of the feature maps. The first layer is a transposed convolutional layer, which applies a set of filters to the encoder network's feature maps and produces new feature maps with a larger spatial dimension. Subsequent layers apply filters to the previous layer's feature maps, capturing increasingly local features of the input image. The decoder network includes skip connections that combine the encoder and decoder feature maps to access both the local and global features of the input image. The decoder network's output is a segmentation map, which is a pixel-wise classification of the input image, assigning each pixel a label corresponding to an object class.

#### 2.4. Post-processing

The input layer resolutions of the deep learning models must be a fixed value. For this reason, it is not possible to input an image with a different resolution to the relevant models. However, considering the existence of different technologies, devices, and standards used in daily life, it is not a logical approach to expect only a predefined fixed value as input. To overcome all these difficulties, it is necessary to divide the images into  $256 \times 256$ px pieces and give them as input to the model with their names according to the row-column structure. The  $256 \times 256$ px images obtained at the output of the deep learning model should be combined sequentially. In this way, the detection of road and lane markings areas on high-

resolution images can be performed automatically without being subject to limitations due to any resolution value. An approach to obtaining the predicted mask corresponding to the original image by combining the  $256 \times 256$ px sub-images predicted by the U-Net model is shown in Figure 7.



**Figure 7.** An approach to obtaining the predicted mask.

## 2.5. Performance metrics

Semantic segmentation is a computer vision technique that involves partitioning an image into multiple segments, each of which corresponds to a specific object or region within the image. In the context of semantic segmentation, each pixel in the predicted segmentation mask can be classified as either a True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), or False Negative (FN) based on its correspondence with the ground truth segmentation mask. Table 1 provides a summary of these terms and the corresponding situations they represent.

**Table 1.** Summary of performance evaluation terms

Terms	Description
TP	A pixel is considered a TP if it is correctly classified as belonging to a specific object class by the predicted segmentation mask, and this classification is also correct in the ground truth segmentation mask.
FP	A pixel is considered a FP if it is incorrectly classified as belonging to a specific object class by the predicted segmentation mask, but this classification is not present in the ground truth segmentation mask.



TN	A pixel is considered a TN if it is correctly classified as not belonging to a specific object class by the predicted segmentation mask, and this classification is also correct in the ground truth segmentation mask.
FN	A pixel is considered a FN if it is incorrectly classified as not belonging to a specific object class by the predicted segmentation mask, but this classification is present in the ground truth segmentation mask.

These terms are used to compare the predicted segmentation masks generated by the model with the ground truth masks provided by human annotators. Some commonly used metrics for evaluating the performance of semantic segmentation models are as follows.

- Pixel Accuracy (PA) measures the proportion of correctly classified pixels in the image. It is a simple and intuitive metric that provides a quick estimate of the segmentation model's overall accuracy, but it does not take into account the importance of different object classes.
- Precision (Pre) and Recall (Rec) are commonly used in classification tasks but can also be applied to semantic segmentation. Precision measures the proportion of true positive pixels in the predicted segmentation mask, while recall measures the proportion of true positive pixels in the ground truth segmentation mask that are correctly identified by the predicted mask.
- Intersection over Union (IoU) measures the overlap between the predicted segmentation mask and the ground truth mask for each object class in the image. IoU is computed as the ratio of the intersection of the two masks to their union, and values range from 0 (no overlap) to 1 (perfect overlap).
- Mean Intersection over Union (mIoU) is the average IoU across all object classes in the image. It provides an overall estimate of the segmentation model's accuracy, taking into account the performance across all object classes.
- Dice Coefficient (DC) measures the similarity between the predicted and ground truth segmentation masks. DC values range from 0 to 1, with higher values indicating better segmentation accuracy. The DC is often used in conjunction with IoU to evaluate segmentation models

IoU and DC are two commonly used performance metrics in semantic segmentation studies. Both metrics are used to evaluate the similarity between the predicted segmentation mask and the ground truth mask. While both metrics measure the similarity between the predicted and ground truth masks, they differ in their focus. IoU gives more weight to the size of the intersection relative to the size of the union, whereas the DC gives equal weight to both the intersection and the total number of pixels in the masks. The IoU metric tends to penalize more than the DC. Therefore, the DC tends to measure closer to the average performance, whereas the IoU score measures closer to the worst-case performance. Due to this feature, the DC is effectively used as a loss parameter in model training.

The mathematical equations required for the calculation of performance metrics used in segmentation studies are presented in Table 2.

**Table 2.** The mathematical equations of performance metrics

Metrics	Equation
PA	$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$
Pre	$\frac{TP}{TP + FP}$

Rec	$\frac{TP}{TP + FN}$
IoU	$\frac{TP}{TP + FP + FN}$
mIoU	$\frac{(IoU1 + IoU2 + \dots + IoUn)}{n}$
DC	$\frac{2 \times TP}{(TP + FP) + (TP + FN)}$

### 3. Experimental Results

The results of the U-Net models trained for automatic detection of road and lane markings areas in high-resolution images are presented in this section. In addition, various evaluation metric values of experimental findings are shown in the following sections.

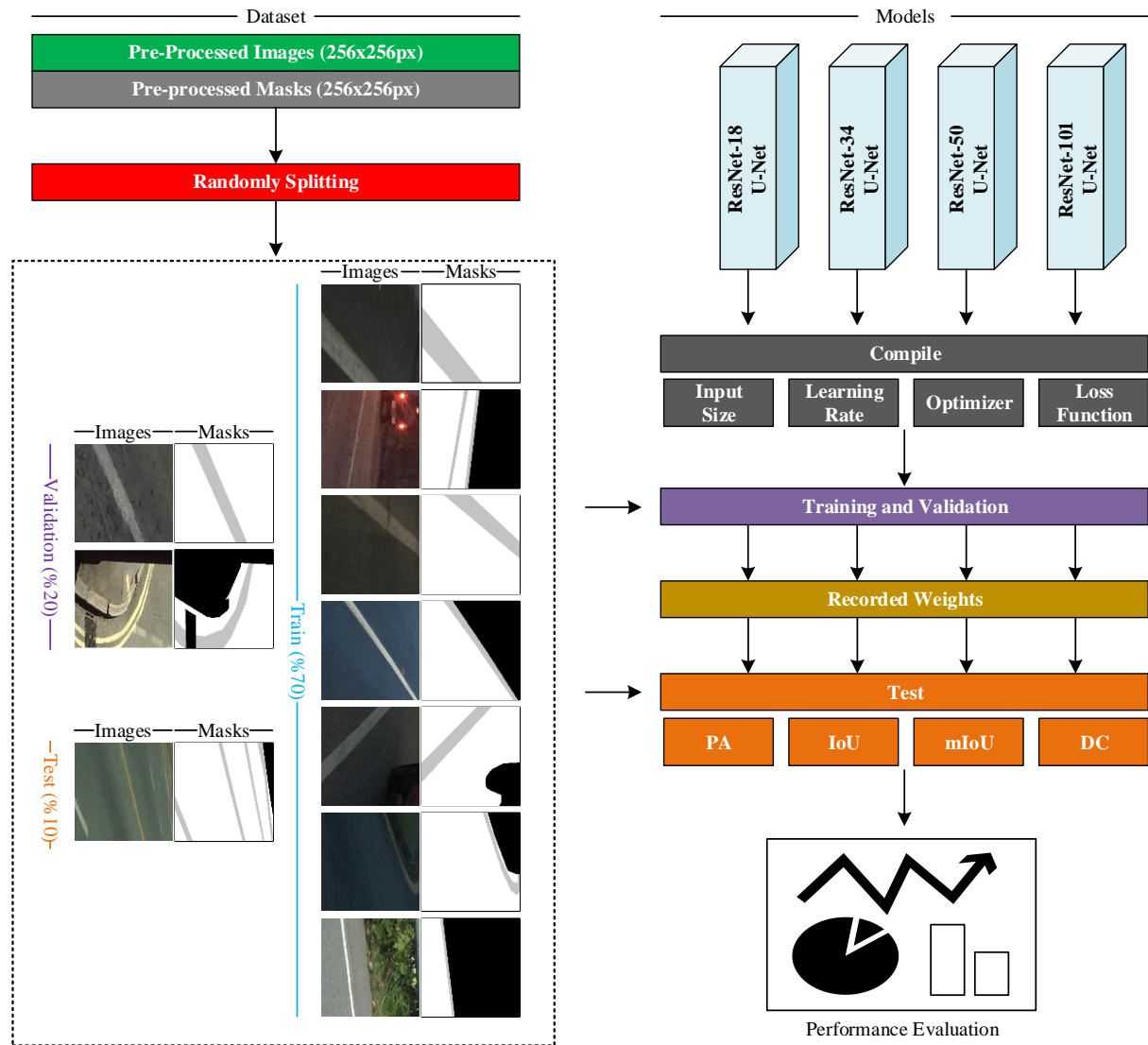
#### 3.1. Experimental setups

In this study, the images are randomly divided into 70% training, 20% validation, and 10% testing. The training set was used to train semantic segmentation model on a large amount of data, allowing it to learn to recognize and segment different classes of objects within images. Four different models were compiled for this study: U-Net with ResNet-18 encoder, U-Net with ResNet-34 encoder, U-Net with ResNet-50 encoder, and U-Net with ResNet-101 encoder. The models and their hyperparameters utilized in this study are presented in Table 3.

**Table 3.** The models and hyperparameters

Model	Input Size	Weights	Learning Rate	Optimizer	Loss Function	Total Parameters
ResNet-18 U-Net	256×256×3	ImageNet	0.0001	Adam	DiceLoss	14,340,860
ResNet-34 U-Net	256×256×3	ImageNet	0.0001	Adam	DiceLoss	24,456,444
ResNet-50 U-Net	256×256×3	ImageNet	0.0001	Adam	DiceLoss	32,561,404
ResNet-101 U-Net	256×256×3	ImageNet	0.0001	Adam	DiceLoss	51,605,756

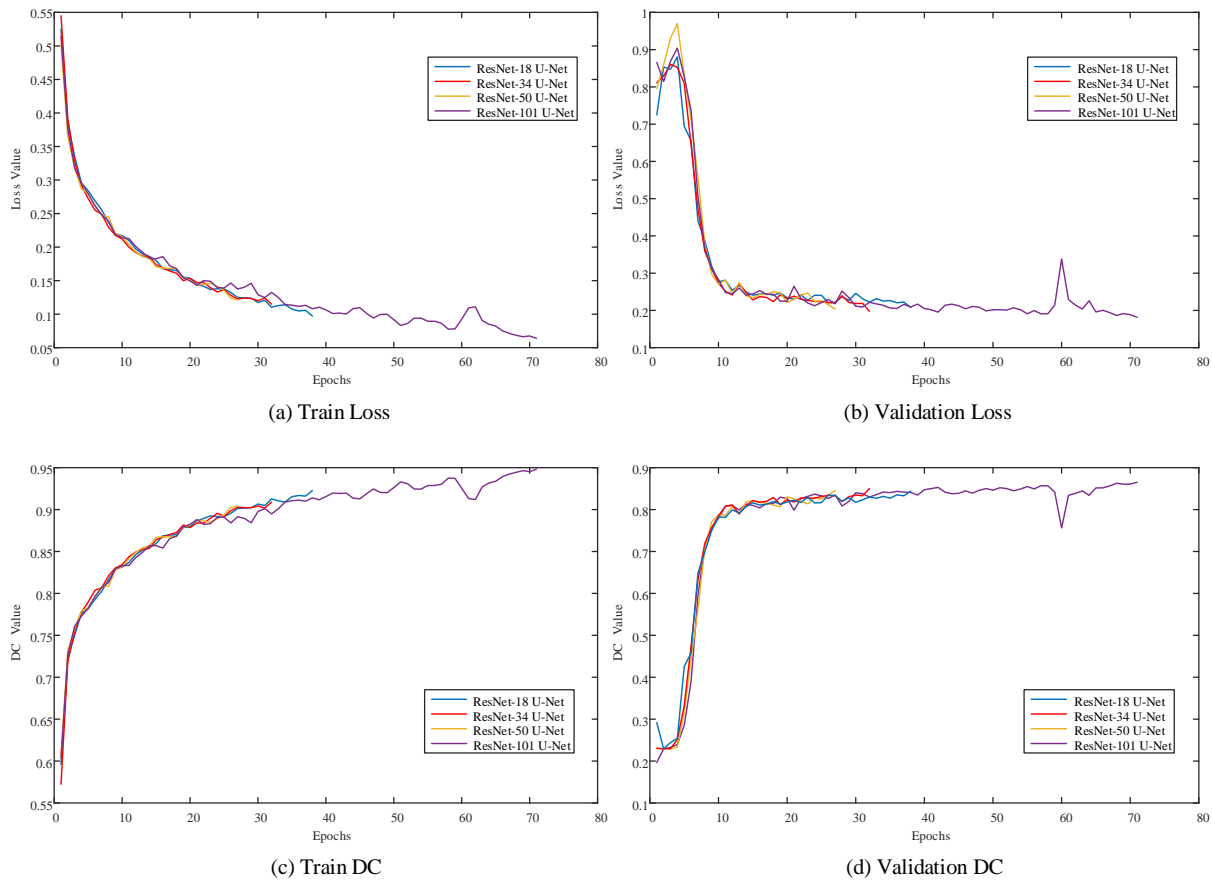
The models underwent training and validation processes, utilizing an early stopping function. The primary objective of this function is to mitigate overfitting, which transpires when a model becomes excessively intricate and begins memorizing the training data instead of learning generalized patterns that can be extrapolated to new data. The function monitors the validation loss during the training process, and terminates the training process if the validation loss stops decreasing or starts increasing. The early stopping function is optimized to activate after 15 consecutive epochs, where the monitored loss value displays no decrease. Following the completion of the training and validation phases, the final weights of each model were recorded in the '.hdf5' format. Subsequently, the models with the recorded weights were tested using test images, and the optimal model was determined by evaluating the attained performance metrics. The schematic representation of the training, validation, and testing phases of the models is illustrated in Figure 8.



**Figure 8.** The schematic representation of the training, validation, and testing phases

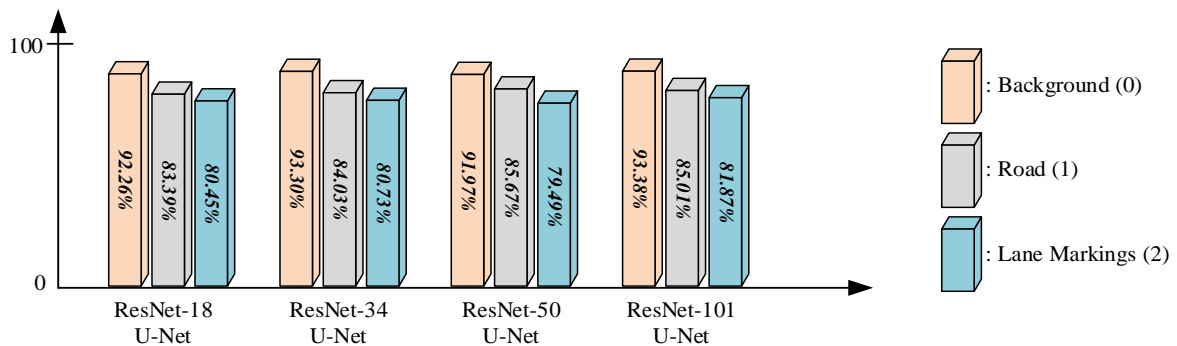
### 3.2. Results

Accurate and efficient segmentation of road and lane markings is a critical task for the development of computer vision systems in the field of autonomous driving. To accomplish this task, we trained U-Net models with four different additional variants using the ResNet architecture. These backbones are widely recognized for their ability to extract meaningful features from images, which is essential for accurate segmentation. The performance graphs of the models obtained during the training and validation stages are given in Figure 9.



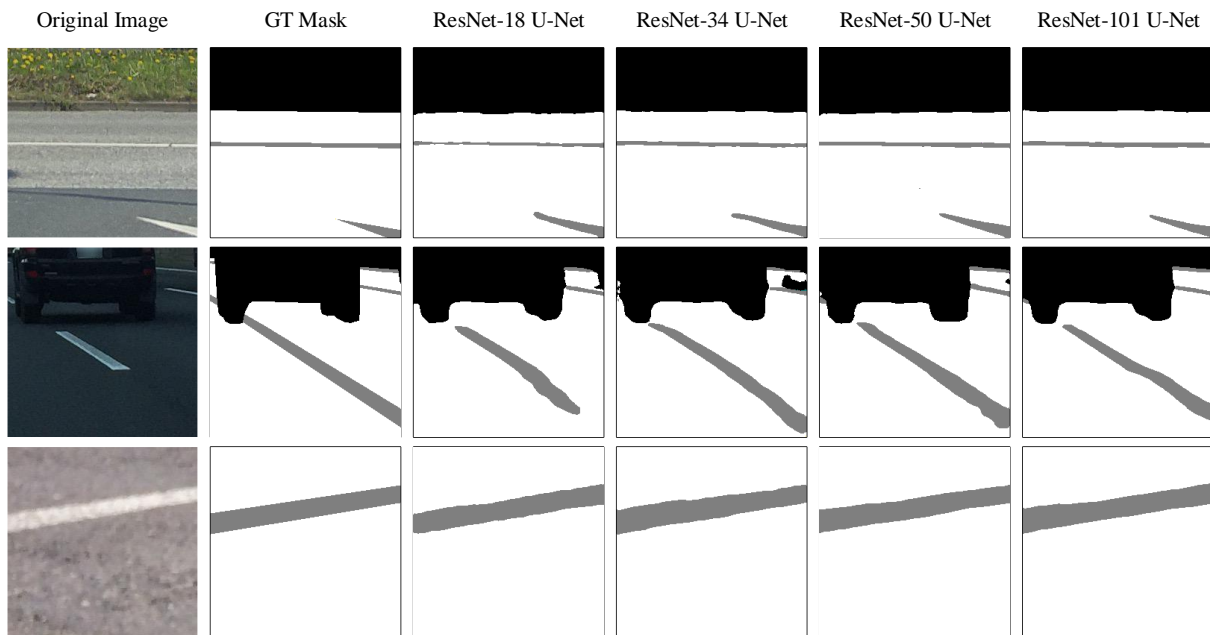
**Figure 9.** Performance Graphs (a) Train Loss, (b) Validation Loss, (c) Train DC, (d) Validation DC

Among all models, the ResNet-101 U-Net exhibited the lowest validation loss and the highest validation DC, indicating its superior performance in segmenting road and lane areas. The ResNet-101 U-Net model achieved a validation loss of 0.1715 and a validation DC of 0.8853, outperforming the other three models in terms of accuracy and robustness. To assess the effectiveness of the proposed method, we evaluated the four models on a separate set of test images that were not used for training or validation. The ResNet-18 U-Net model achieved a mIoU of 85.37%, while the ResNet-34 U-Net model achieved a slightly higher mIoU of 86.02%. The ResNet-50 U-Net model had an mIoU of 85.71%, and the ResNet-101 U-Net model achieved the highest mIoU value of 86.75%. Figure 10 presents the class-based IoU value distribution for each of these models on the test images.



**Figure 10.** The class-based IoU value distribution.

Figure 11 shows the predicted segmentation mask for each model on randomly selected test images. By visually comparing these results, the segmentation performance of each model in real-world scenarios can be better understood.



**Figure 11.** The predicted segmentation mask on test images.

#### 4. Discussion

The development of computer vision systems for autonomous vehicles is a rapidly growing research area. With advancements in hardware technology, there is an increasing number of studies focused on providing vision to autonomous systems. In this study, we propose a ResNet-101 U-Net model for accurately segmenting roads and lane markings from street-level images. The results obtained from our experiments indicate that the proposed model performs well in accurately segmenting both the road and lane markings. Furthermore, the resolution of the input image does not significantly impact the performance of the proposed method. Figure 12 illustrates the prediction made by the proposed model on test image with resolutions different from  $256 \times 256$  pixels.



**Figure 12.** The predicted segmentation mask on high-resolution image.

To the best of our knowledge, this is one of the first studies to use this model for this task. Table 4 provides details for a hand-curated selection of research studies on computer vision for autonomous vehicles. Cheng et al. (2023) proposed a lane line detection algorithm based on instance segmentation. The proposed method optimizes the RepVgg-A0 network structure. Experimental results shows that the algorithm achieves an accuracy (Acc) value of 96.70% on the TuSimple dataset. Liu et al. (2022) proposed a Lane-GAN network for lane line detection that is robust to blurred images in complex road environments. Their model yielded a 96.56% Acc rate. Dewangan et al. (2021) proposed an approach based on U-Net for segmenting road and non-path areas from images. The experimental results, obtained using the Camvid dataset, show that U-Net outperforms other models with a score of 94.00% for both mIoU and DC. Das et al. (2021) proposed a method for road boundary estimation using deep learning-based semantic segmentation, without prior knowledge of road markings. The method employs a DeepLab architecture with different types of backbone networks and handles class imbalance using weighted loss contribution. The method is evaluated using the ‘ICCV09DATA’ dataset. The method achieved the Acc of 0.9596.

**Table 4.** The research studies on computer vision for autonomous vehicles.

Study	Dataset	Default Input Size	Number Of Classes	Method	Performance
Cheng et al. (2023)	TuSimple	368×640	2 ( Line and background)	Custom Model	Acc=96.70%
Liu et al. (2022)	TuSimple and CULane	1280×720	2 ( Line and background)	Lane-GAN	Acc=96.56%
Dewangan et al. (2021)	Camvid	960×720	2 ( Road and non-road)	U-Net	mIoU=94.00%
Das et al. (2021)	ICCV09DATA	256×256	3 ( Road, road boundary and background)	DeepLabV3+	Acc=95.96% Pre=94.53% Rec=93.69%
This study	Mapillary Vistas	-	3 ( Road, Lane markings and background)	ResNet-101 U-Net	mIoU=86.75%

In the literature studies, binary segmentation studies were commonly conducted, such as distinguishing between road or background, and lane markings or background. As a result, high performance in these studies is typically achieved. However, a fixed input size is usually required in all proposed methods. When an image of a resolution other than this value is inputted, no action can be taken. In this study, an image cropping and merging method is proposed to enable segmentation without requiring a fixed resolution value.

The advantages of our method can be summarized as follows:

- The image cropping and merging method reduces resource usage.
- End-to-end multi-class segmentation can be performed without input size limitations.
- The pixel-based classification feature provides more precise detection of road and lane markings.
- The filtering function used during the training phase enables higher success rates to be achieved in a shorter amount of time.

The primary limitation of the proposed method is the high cost associated with creating new datasets for use in the training, validation, and testing phases of the model. In future studies, we intend to validate and enhance the model's generalization ability by utilizing a hybrid dataset obtained from public sources.

### Contribution Rate Statement

All research and writing steps belong to the corresponding author.

### Acknowledgment

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### Conflict of Interest Statement

No conflict of interest was declared by the author.

### References

- Kaushal, P., Vatsa, D., Gupta, S., and Raj, R.** (2022). Historical Analysis of Wheel and Diving into Future of Wheel Made with Additive Manufacturing. *Recent Trends in Industrial and Production Engineering*, 95-106. doi:10.1007/978-981-16-3330-0\_8
- Winner, H., and Wachenfeld, W.** (2016). Effects of autonomous driving on the vehicle concept. *Autonomous Driving*, 255-275. doi:10.1007/978-3-662-48847-8\_13
- Milakis, D.** (2019). Long-term implications of automated vehicles: An introduction. *Transport Reviews*, 39(1), 1-8. doi:10.1080/01441647.2019.1545286
- Zhang, C., and Lu, Y.** (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224. doi:10.1016/j.jii.2021.100224
- Stanton, N. A., and Salmon, P. M.** (2009). Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. *Safety Science*, 47(2), 227-237. doi:10.1016/j.ssci.2008.03.006
- Henschke, A.** (2020). Trust and resilient autonomous driving systems. *Ethics and Information Technology*, 22(1), 81-92. doi:10.1007/s10676-019-09517-y
- Deng, G., and Wu, Y.** (2018). Double lane line edge detection method based on constraint conditions hough transform. *17th International symposium on distributed computing and applications for business engineering and science (DCABES)*, 107-110.
- He, Y., Wang, H., and Zhang, B.** (2004). Color-based road detection in urban traffic scenes. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 5(4), 309-318.
- Yadav, S., Patra, S., Arora, C., and Banerjee, S.** (2017). Deep CNN with color lines model for unmarked road segmentation. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 585-589.
- Dewangan, D. K., and Sahu, S. P.** (2021). Road detection using semantic segmentation-based convolutional neural network for intelligent vehicle system. *Data engineering and communication technology*, 629-637. doi:10.1007/978-981-16-0081-4\_63
- Li, J., Jiang, F., Yang, J., Kong, B., Gogate, M., Dashtipour, K., and Hussain, A.** (2021). Lane-deeplab: Lane semantic segmentation in automatic driving scenarios for high-definition maps. *Neurocomputing*, 465, 15-25. doi:10.1016/j.neucom.2021.08.105
- Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., ... Schiele, B.** (2016). The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 3213-3223.

**Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., and Urtasun, R. (2013).** Vision meets robotics: The kitti dataset. *The International Journal of Robotics Research*, 32(11), 1231-1237. doi:10.1177/0278364913491297

**Brostow, G. J., Fauqueur, J., and Cipolla, R. (2009).** Semantic object classes in video: A high-definition ground truth database. *Pattern Recognition Letters*, 30(2), 88-97. doi:10.1016/j.patrec.2008.04.005

**Neuhold, G., Ollmann, T., Rota Bulo, S., and Kotschieder, P. (2017).** The mapillary vistas dataset for semantic understanding of street scenes. *IEEE international conference on computer vision*, 4990-4999.

**Ronneberger, O., Fischer, P., and Brox, T. (2015).** U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*, 234-241.

**Cheng, W., Wang, X., and Mao, B. (2023).** Research on Lane Line Detection Algorithm Based on Instance Segmentation. *Sensors*, 23(2), 789. doi: 10.3390/s23020789

**Liu, Y., Wang, J., Li, Y., Li, C., and Zhang, W. (2022).** Lane-GAN: A Robust Lane Detection Network for Driver Assistance System in High Speed and Complex Road Conditions. *Micromachines*, 13(5), 716. doi: 10.3390/mi13050716

**Dewangan, D. K., and Sahu, S. P. (2021).** Road detection using semantic segmentation-based convolutional neural network for intelligent vehicle system. *Data Engineering and Communication Technology: Proceedings of ICDECT*, 629-637.

**Das, S., Fime, A. A., Siddique, N., and Hashem, M. M. A. (2021).** Estimation of road boundary for intelligent vehicles based on deepLabV3+ architecture. *IEEE Access*, 9, 121060-121075.



## Research Article

# Evaluation of factors affecting logistics performance in a global crisis environment with DEMATEL and BWM

Furkan Dişkaya<sup>1</sup>, Şenol Emir<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Industrial Engineering, Faculty of the Engineering-Architecture, Beykent University, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Department of Econometrics, Faculty of Economics, Istanbul University, Istanbul, Turkey

\*Correspondence: [senol.emir@istanbul.edu.tr](mailto:senol.emir@istanbul.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1261018

**Abstract:** One of the most important indicators of the economic welfare of the countries is the performance level of logistics operations. For this reason, the performance of logistics activities is susceptible to economic conditions. In recent years, the financial crisis environment, which has reached global dimensions due to the pandemic and war, has revealed that logistics management performances should be reevaluated. Therefore, it will be significant to reassess the critical factors that affect the logistics management performance domestically and globally at the country level. This study examined national and international critical factors impacting logistics management performance in the economic crisis environment. For this purpose, criteria determined from expert opinions and scientific literature review were evaluated by DEMATEL and BWM methods. The results obtained from these two methods were combined with the COPELAND method. As a consequence of the investigation, the factors impacting logistics performance were identified and interpreted in order of importance. The paper analyzes the factors impacting countries' logistics performance in the global economic crisis environment and presents an up-to-date evaluation.

**Keywords:** Global Crisis Environment, Logistics Performance, Criteria Weighting, DEMATEL, BWM, COPELAND.

## Küresel kriz ortamında lojistik performansını etkileyen faktörlerin DEMATEL ve BWM ile değerlendirilmesi

**Özet:** Ülkelerin ekonomik refah seviyelerinin en önemli göstergelerinden biri lojistik faaliyetleri performans düzeyleridir. Bu sebeple lojistik faaliyetlerin performansı ekonomik şartlara oldukça duyarlıdır. Son yıllarda pandemi ve savaş etkisi ile küresel boyutlara ulaşan ekonomik kriz ortamı, lojistik yönetimi performanslarının yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini açıkça göstermiştir. Dolayısıyla ülkeler düzeyinde ulusal ve küresel seviyede uluslararası lojistik yönetimi performansını etkileyen kritik faktörlerin yeniden değerlendirilmesi önemlidir. Bu çalışmada lojistik yönetimi performansını etkileyen ulusal ve uluslararası kritik faktörler ekonomik kriz ortamı için analiz edilmiştir. Bu amaçla uzman görüşleri ve bilimsel yazın taraması sonucu belirlenen faktörler DEMATEL ve BWM yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar COPELAND yöntemi ile birleştirilmiştir. Analiz sonucunda küresel lojistik performansını etkileyen faktörler belirlenerek önem sıralarına göre yorumlanmıştır. Çalışmanın amacı, küresel ekonomik kriz ortamında ülkelerin lojistik performanslarını etkileyen faktörleri analiz ederek, güncel bir değerlendirme ortaya koymaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel Kriz Ortamı, Lojistik Performansı, Kriter Ağırlıklandırma, DEMATEL, BWM, COPELAND.

## 1. Introduction

Logistics is the activities that allow the management of all kinds of information, money, raw material, and product flows from the production stage to the final consumption point. (Lambert et al., 1998). Supply chain management is the planning that includes all operations from raw material to consumption in the enterprise. Logistics management plans all operational processes of the same flow, except production. Logistics performance is distributing the finished goods to the appropriate place, at the preferred time, and to the right customer points, with the optimum amount and costs. (Markley and Davis, 2007).

The logistics of goods and services within the supply chain is an element in which businesses and countries make serious investments. Since conditions in the global economic system are constantly changing, companies must have a dynamic logistics management strategy to maintain their competitive advantage in international trade. Therefore, businesses need the highest efficiency strategies to adapt to new economic conditions and ensure sustainability. (Lebas, 1995).

Logistics operations in the global supply chain have the most crucial share of the increasing costs. Events such as pandemics, wars, and famines trigger economic crises, and countries have difficulty adapting to competition due to increasing costs. The safer and faster supply of goods and services will reduce costs. Therefore, countries that improve their logistics management performance will have a competitive advantage in a crisis.

In a crisis environment, logistics operations, which are the most important part of supply chain activities, can not be carried out effectively. The main reason for this is that the supply chain infrastructure, which is the most significant unit of the economic system, incorporates processes that are directly affected by serious conditions such as war, pandemic, famine. Therefore, it can be said that there is a direct relationship between economic development and logistics performance (Arvis et al, 2016). Although, to the best of our knowledge, there is less study in the scientific literature that directly examines logistics performance in a global crisis context, there are plenty of studies showing that countries' economies are directly related to logistics performance. In the studies such as (Levchenko, 2004; Djankov et al., 2006; Boopen, 2006; Korinek and Sourdin, 2011; Çekerol and Kurnaz, 2011; Jhawar and Garg, 2018; Sharipbekova and Raimbekov, 2018) it can be seen that logistics performance has effects on economic growth.

Some studies in the scientific literature examining the relationship between crisis situations and logistics management are included. In their study, Jüttner and Maklan examined supply chain flexibility in the global crisis environment. ( Jüttner and Maklan, 2011). Blome and Schoenherr analyzed the supply chain operations of eight large companies in a crisis environment. (Blome and Schoenherr, 2011). Folinas et al. examined the impact of logistics activities during the recession in the Greek economy. (Folinas et al., 2018). In his study, Joseph analyzed the impact of the economic conditions that emerged during the epidemic period on the sustainability of supply chain management. (Joseph, 2021). Kalman and Toth analyzed the relationship between economic competitive advantage and logistics performance for four countries. ( Kalman and Toth, 2021). Nguyen and Le examined the impact of financial crises on logistics performance for one hundred developing and developed countries. (Nguyen and Le, 2022).

Several indexes have been developed to measure the logistics performance of governments and enterprises at worldwide and national levels. Internationally known indexes can be listed as Agility Emerging Markets Logistics Index (AEMLI), Baltic Dry Index (BDI), Global Logistics Guide (GLG), Liner Shipping Connectivity Index (LSCI), and Logistics Performance Index (LPI). LPI is the most cited in scientific research among these indexes and was initially published by the World Bank in 2007. This index evaluates the quality of logistic services, transportation infrastructure, international transportation, on-time delivery, customs, and traceability of countries. (The World Bank, 2022).

Logistics performance can be defined as a measure by which the efficiency and quality of logistics activities are evaluated. The first thing to be done to increase the performance is correctly determining the performance measurement criteria. The other is to determine performance-enhancing strategies following the determined criteria (Wouters, 2009). Correct determination of performance criteria will contribute significantly to developing measurement and evaluation skills (Landers et al., 2008).

In scientific studies on logistics performance, it has been observed that multi-criteria decision-making methods (MCDM) and econometric methods are frequently used due to the multifaceted, complex structure of logistics activities and the high number of criteria. Some of these studies are (Chow et al., 1994; Caplice and Sheffi, 1995; Lai et al., 2002; Gunasekaran and Kobu, 2007; Qureshi et al., 2008; Hamdan and Rogers, 2008; Büyüközkan et al., 2009; Qureshi et al., 2009; Tezuka, 2011; Bonney and Jaber, 2013; Guarnieri et al., 2015; Watrobski, 2016; Marchet et al., 2017; Qaiser et al., 2017; Roy and Sengupta, 2018).

In studies examining logistics efficiency on the macro scale, it is seen that various comparative analyzes have been made with the help of MCDM and other econometric methods using LPI. (Kısa and Ayçin, 2019; Eygü and Kılınç, 2020; Manavgat and Demirci, 2021; Göğebakan, 2022). However, no study that reevaluates logistics performance criteria at the domestic and international levels in the current crisis conditions could be found in the literature.

Several MCDM methods have been utilized to determine criteria weights in the literature. Among them, Best-Worst Method (BWM), Analytic Network Process (ANP), Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Full Consistency Method (FUCOM), Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC), Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA), and Analytic Hierarchy Process (AHP) (Ulu et al., 2022) can be listed.

DEMATEL is a method that can prioritize the criteria of a complex decision-making task by examining their effect levels on each other. The technique allows the criteria to be grouped as the cause and effect, then to determine their weights (Aksakal And Dağdeviren, 2010). DEMATEL evaluates complex criteria relationships and transforms them into a decision model with a causality dimension. The DEMATEL was chosen for this study because domestic and international performance criteria in logistics can have solid economic causal relationships with each other.

BWM is a more recent MCDM method based on initially selecting the best and worst criteria in the decision-making problem. Pairwise comparisons are performed only between the remaining criteria and the best and worst criteria, respectively. Shortly, criteria weighting can be done without a complete pairwise comparison between all criteria. Thus, if the number of criteria is high, it can produce a more consistent pairwise comparison. It has been chosen as an alternative solution method in this study because of its stated advantages, providing additional information about the most and least important criteria according to different experts, and being a novel approach. The aim is to strengthen the analysis by comparing criteria rankings by different methods.

The primary purpose of this study is to present the current evaluation of the factors affecting the performance of logistics activities, which were reshaped in the global crisis environment, with two different methods comparatively. For this purpose, DEMATEL and BWM were utilized to analyze both sets of criteria, and the results were evaluated. The values obtained from the two methods were combined and analyzed with the COPELAND method. Thus, the results obtained from the two methods were re-evaluated. There are various studies on the subject in the literature. The study is thought to contribute to the literature since it employs current domestic and international logistics performance criteria and analyzes the results comparatively by using two different practical methods.

## **2. Materials and methods**

Logistics performance can be measured on a micro and macro scale and calculated using cost, time, speed, durability, and elasticity parameters. The logistics activities of companies at the domestic level and the logistics activities of countries at the international level were considered in this study. The study's logistics performance criteria were derived from current indices, a thorough scientific literature review, and expert opinions. Two sets of domestic and international criteria were obtained and analyzed.

**Table 1.** Critical factors affecting domestic logistics performance

<i>No</i>	<i>Criteria</i>	<i>Description</i>	<i>Reference</i>
1	Logistics Costs ( $D_1$ )	Logistics costs include transportation costs, risks, damages, customer service costs, administration costs, inventory-carrying costs, handling, packaging, etc.	Yean and Das (2016); Dang and Yeo (2018).
2	Logistics Infrastructure ( $D_2$ )	Transport infrastructure (air, sea, road, railway), container depots, handling equipment, and logistics centers	Kauppinen and Lindqvist (2006); Fechner (2010); Banomyong et al. (2015); Yean and Das (2016).
3	Technology and Telecommunication ( $D_3$ )	Global positioning by satellite, Warehouse management system, Transport management system, Online status tracking, Enterprise resource planning, Port management system, Multimodal transit connectivity, Infrastructure connections, containerization level, etc.	Kauppinen and Lindqvist (2006); Dang and Yeo, (2018).
4	Institutional Frameworks ( $D_4$ )	Customs policies and clearance, regulations and directions, environmental avoidance and guidance, corruption issues, and the number of agencies.	Kauppinen and Lindqvist (2006); Lu and Lin (2012); Banomyong et al. (2015); Dang and Yeo, (2018).
5	Logistics Services ( $D_5$ )	Transportation services (air, sea, railway, etc.), forwarding services, warehouse services, customs agencies, customs bonds, lead time, etc.	Banomyong et al., (2015); Karim et al. (2018); Dang and Yeo, (2018).
6	Human Resources ( $D_6$ )	The quality of logistics education and labor force, logistics research and development	Kauppinen and Lindqvist (2006); Dang and Yeo, (2018).
7	International Cooperation ( $D_7$ )	Strengthening cooperation among international with domestic enterprises, raising alertness of state enterprises and agencies on logistics.	Yean and Das (2016).
8	Finance Services ( $D_8$ )	Accessibility of insurance and banking, effective monetary policy	Dang and Yeo, (2018).
9	Digital Transformation ( $D_9$ )	Integration of logistics infrastructure and services into the digital environment	AEMLI, (2022).

Table 1 lists nine key criteria that have been decided to influence logistics performance at the national level. In recent years, when the impact of the global crisis was evident, the changes in traditional logistics systems due to the developing technology and the increasing importance of the global supply chain guide to the inclusion of "*Technology and Telecommunication*," "*International Cooperation*," and "*Digital Transformation*."

Likewise, Table 2 includes nine essential criteria chosen to influence logistics performance at the international level. With the globalization of companies, government administrations, customs and port services, and increasing digitalization, the effects of the new business model were deemed appropriate to include in the study. For this purpose, "*Domestic Logistics Opportunities*," "*International Logistics Opportunities*," and "*Digital Readiness*" criteria were appended to the international criteria set, in addition to the widely accepted LPI index in the literature.

**Table 2.** Critical factors affecting international logistics performance

<i>No</i>	<i>Criteria</i>	<i>Description</i>	<i>Reference</i>
1	Customs ( $I_1$ )	Procedure before import or export internationally, the efficiency of border management authorization	LPI, (2018).
2	Logistics Infrastructure ( $I_2$ )	The standard of transportation and commercial infrastructure.	LPI, (2018).
3	International Shipments ( $I_3$ )	The ease with which competitively priced shipments can be adjusted	LPI, (2018).
4	Logistics Quality and Competence ( $I_4$ )	The quality and competence of logistics services	LPI, (2018).
5	Tracking and Tracing ( $I_5$ )	The skill to trace and track consignments	LPI, (2018).
6	Timeliness ( $I_6$ )	The regularity with which shipments deliver consignee within expected delivery times or scheduled	LPI, (2018).
7	Domestic Logistics Opportunities ( $I_7$ )	Logistics markets, economy, income equality, population, urbanization, business clusters	AEMLI, (2022).
8	International Logistics Opportunities ( $I_8$ )	International logistics markets, infrastructure connectedness, and quality	AEMLI, (2022).
9	Digital Readiness ( $I_9$ )	Digital business models and online commerce, digital skills, and human capital, emissions intensity, entrepreneurial risk, renewable energy mix	AEMLI, (2022).

## 2.1 DEMATEL

The DEcision-MAking Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) is an effective method for analyzing complex decision-making problems (Gabus and Fontela, 1972). It can characterize the internal relationships of the criteria involved in the decision-making as a network. A model describing the interrelationships between the criteria is obtained. One of the essential advantages of DEMATEL is that it can decouple the criteria into groups in the form of cause-and-effect criteria.

Cause criteria are high priority criteria that have more impact on others. On the other hand, effect criteria are those that are more influenced and considered to be of low priority. DEMATEL is a method that can rank or prioritize the criteria in the decision problem by considering the nature of relations between the criteria and the strength of these relations. Identifying the critical ones among the criteria is one of the crucial aspects of the method. The internal relationships captured from the analysis can be presented more effectively with visual tools such as an impact diagram and a relationship map.

(Si et al., 2018) offers a very comprehensive literature review about DEMATEL. In some research, the DEMATEL approach is implemented with other methods for specific purposes. For example, (Gölcük and Baykasoğlu, 2016) thoroughly investigated criteria interaction in Multiple-Attribute Decision Making methods and reviewed DEMATEL and Analytical Network Process hybridization in this setting.

Different variations of the classical DEMATEL technique have been created to address issues with ambiguity and vagueness in decision-making, such as Fuzzy DEMATEL (Chang et al., 2011), Grey DEMATEL (Bouzon et al., 2018), Neutrosophic DEMATEL (Kilic et al., 2021), Intuitionistic Fuzzy DEMATEL (Büyüközkan et al., 2017), Spherical DEMATEL (Özdemirci et al., 2023).

The DEMATEL approach is frequently employed to offer insightful information to practitioners and decision-makers in various application fields. The following is a list of studies that use the classical DEMATEL as an analysis tool in particular areas like supply chain and logistics. Determining barriers that need to be removed to implement sustainable supply chains in textile and apparel industries

(Vishwakarma et al., 2022), examining the relationships between the components of sustainable logistics, and identifying the crucial and causal elements affecting its adoption (Parhi et al., 2022). Finding the essential factors in the automotive aftermarket logistics operations planning by considering interdependency among factors (Hsieh and Zhang, 2022). Assessing the most vital metrics for service quality of smart ports and their links in the post pandemic environment (Hsu et al., 2023). Evaluating the third-party logistics (3PL) providers' contribution rates concerning service quality and DEMATEL aided in detecting the importance of segmented jobs in the service process (Du, 2023).

The stages followed by classical DEMATEL can be given as follows (Tzeng et al., 2007; Wu, 2008; Uygun et al., 2015):

**1) Obtaining Direct Relationship Matrix**

To obtain the Direct Relationship Matrix ( $M$ ), experts are requested to indicate how much each criterion affects other criteria. The scale consists of values 0 (any influence), 1 (low influence), 2 (medium influence), and 4 (very strong influence), respectively. As a criterion does not affect itself, all main diagonal elements in the matrix are equal to zero. If there is more than one expert, the arithmetic mean of the expert opinions is used. In a decision problem consisting of  $n$  criteria,  $m_{ij}$  is the value that shows how much criterion  $i$  affects criterion  $j$  (Eq. 1)

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{1j} & \cdots & m_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{i1} & \cdots & m_{ij} & \cdots & m_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & \cdots & m_{nj} & \cdots & m_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} ; i, j \in \{1, \dots, n\} \tag{1}$$

**2) Creating the Normalized Direct Relation Matrix**

Direct Relation Matrix ( $M$ ) is converted to the Normalized Direct Relation Matrix ( $D$ ) as Eq. 2.

$$D = \frac{M}{k} \tag{2}$$

The totals of the rows and columns are computed separately. The largest of these sums ( $k$ ) is determined as in Eq. 3 and used for normalization. So, there is at least one  $i$  such that  $\sum_{j=1}^n m_{ij} \leq k$ .

$$k = \max \left( \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n z_{ij}, \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n z_{ij} \right) \tag{3}$$

As a result of the normalization operation, the values of each element in  $D = [d_{ij}]_{n \times n}$  becomes  $0 \leq d_{ij} \leq 1$  and  $0 \leq (\sum_i d_{ij}, \sum_j d_{ij}) < 1$ . Also, at least one column  $\sum_j d_{ij}$  or one row  $\sum_i d_{ij}$  equals 1.

**3) Attaining the Total Relation Matrix**

Total Relation Matrix ( $T$ ) is used to create the full impact of the criteria. Indirect impacts between criteria are assessed using the powers of  $D$  matrix. This matrix shows the gradual reduction of indirect effects. Also, it guarantees convergent matrix inversion solutions that resemble an absorbing Markov chain matrix (Hsu et al., 2013).

$$\begin{aligned} T &= D^1 + D^2 + D^3 + \dots + D^h \\ &= D(I + D + D^2 + D^3 + \dots + D^{h-1})(I - D)(I - D)^{-1} \\ &= D(I - D^h)(I - D)^{-1} \end{aligned} \tag{4}$$

In Eq. 4,  $I$  is denoted as the identity matrix. When  $\lim D^h = [0]_{n \times n}$  and  $h \rightarrow \infty$ , Total Relation Matrix is generated as follows:

$$T = \lim_{h \rightarrow \infty} (D + D^2 + \dots + D^h) = \sum_{h=1}^{\infty} D^h = D(I - D)^{-1} \tag{5}$$

where  $t_{ij}$  indicates the amount of total direct relation of  $i$  th criterion in  $j$  th criterion.

**4) Calculating Cause and Effect Values**

Cause and effect values are determined by the sum of rows and columns of  $T$  matrix represented as  $R$  and  $C$ , respectively. The formulation for these values is shown in Eq. 6 and Eq. 7.

The  $r_i$  is the sum of the  $i$  th row and shows the cause value of the criterion  $i$  on other criteria. It represents the total of direct and indirect effects dispatching from criterion  $i$  to the other factors.

$$R = [r_i]_{n \times 1} = \left[ \sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{n \times 1} ; \quad i = 1, \dots, n \tag{6}$$

Similarly, the  $c_j$  is the sum of the  $j$  th column and shows the effect of the criterion  $j$  on other criteria. It is the total of direct and indirect effects criterion  $i$  is receiving from other criteria. In Eq. 7,  $T$  denotes the transpose operation.

$$C = [c_j]_{1 \times n} = \left[ \sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{1 \times n}^T ; \quad j = 1, \dots, n \tag{7}$$

For the  $i = j$  and  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $r_i + c_j$  indicates the impact of the  $i$  th criterion (how crucial it is to others). So, a greater  $r_i + c_j$  value indicates that the criterion has more interaction with other criteria. Similarly, a smaller  $r_i + c_j$  is an indication that  $i$  th criterion has less interaction with others.

Additionally,  $r_i - c_j$  values are utilized to classify criteria as groups of cause and effect. In case of  $r_i - c_j$  is positive for a criterion, this criterion is identified as a causal criterion. Conversely, in the case of  $r_i - c_j$  is negative, it is an effect criterion.

**5) Calculating the Threshold Value**

A threshold value is used to make the findings easy to read and keep the system's complexity under control. Usually, the threshold value  $\theta$  is calculated as the average of elements in the Total Relation Matrix as in Eq. 8. Here,  $N = n \times n$  is the total number of elements in this matrix. In some situations, the decision-makers or experts can also determine the threshold value by brainstorming.

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}}{N}, \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \tag{8}$$

The threshold value is utilized when plotting the interrelationship map. Only the relationships on the total direct relationship matrix with a value greater than the threshold are considered interdependencies between criteria. In this way, it is aimed to eliminate and filter criteria that have a minor impact on others.

**6) Plotting Interrelationship Map**

Relations that surpass the threshold value are presented in the interrelationship map, with  $R + C$  values on the horizontal axis and  $R - C$  values on the vertical axis, respectively. The  $R + C$  value is called "Prominence" and illustrates the strength of influences that are given and received of the criterion. In a nutshell, "Prominence" indicates the degree of the criterion's central role in the system. ( $R - C$ ) value is called "Relation" and gives the net effect the criterion contributes.

Decision-makers can graphically discover the intricate causal relationships between criteria and highlight valuable insights for decision-making by exploring the Interrelationship Map.

### 7) *Determining the Weights of Criteria*

Typically, a normalizing process establishes the criteria importance weights based on the Prominence ( $R + C$ ) values (Si et al., 2018), as seen in Eq. 9.

$$\omega_i = \frac{r_i + c_i}{\sum_{i=1}^n r_i + c_i}, \quad i = 1, 2 \dots n. \quad (9)$$

(Dalalah et al., 2011) proposed another formula (Eq. 10-11) to measure the importance of criteria.  $\omega_i$  represents the vector length starting from the origin to each criterion on the Interrelationship Map.

$$s_i = \sqrt{(r_i + c_i)^2 + (r_i - c_i)^2}, \quad i = 1, 2 \dots n \quad (10)$$

To reach the final weights of criteria to be employed in the analysis following normalization step is applied.

$$\omega_i = \frac{s_i}{\sum_{i=1}^n (s_i)}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

## 2.2 BWM

BMW (Rezaei, 2015) is a multi-criteria decision-making method that uses a pairwise comparison. The usage of BWM has been growing in recent years since it has some advantages over Analytical Hierarchy Process, the most common method to calculate criteria weights through pairwise comparisons. The formulation of the BWM is easy to capture and apply. The central part of the BMW technique is the presumption that we consider a reference point whenever we compare two items in our daily lives. So, the foundation of BMW is identifying the best and worst criteria in the decision-making problem and the comparison of these to the other criteria (reference comparisons) (Rezaei, 2020). Except for reference comparisons, no pairwise comparisons are performed. Unlike the AHP method, which employs matrices for pairwise comparisons, BWM uses vectors. As a result, if there are  $n$  criteria in the decision-making task, there are  $2n - 3$  comparisons in the BWM, while there are  $n(n - 1)/2$  comparisons in the AHP. Since fewer comparisons are conducted, the problem of inconsistency is alleviated. Moreover, contrary to methods such as DEMATEL, which is also one of the weight calculation methods, in BWM, it is possible to gain a consistency ratio that indicates the reliability of comparisons.

The BWM method can be employed alone to weigh the criteria and rank the alternatives. It can also be utilized in a hybrid fashion, in which case only the weighing step is carried out while other techniques are implemented to rank the alternatives. Or, as in this research, it can be used solely for criteria weighting. Examples of recent studies where the criteria weighting is the main focus are included as follows: Putting weight on each of the six indicators that go into the Logistics Performance Index (Rezaei et al., 2018); assessing the prospects and difficulties in Russia's renewable energy industry by allocating weights to the listed criteria under professional judgments (Agyekum et al., 2021); weighing the major aspects influencing traffic accidents (Ulu et al., 2022); analyzing the outcomes of various weighting techniques for the six critical elements of a smart city (Ekin and Sarul, 2022); the weighting of the eight competitiveness evaluation criteria for different self-directed ship category for the route of transportation in Arctic (Munim et al., 2022).

A very comprehensive survey on applications of the BWM is provided by (Mi et al., 2019). A bibliometric analysis of BMW, advantages, and formulation of the method, integrations of BMW with other MCDM methods, challenges, and future research guidelines are given in-depth in this study.

The mathematical steps of the approach are described in detail by following (Rezaei, 2016; Beemsterboer et al., 2018; Rezaei et al., 2018).



**1) Determining Decision Criteria Set (C)**

The set of criteria is important for choosing the best alternative or ranking the alternatives. In the first stage, the criteria set  $c_1, c_2, \dots, c_n$  consisting of  $n$  criteria is determined. For this purpose, conducting a literature review, brainstorming, or consulting expert opinions may be necessary. Since different expert groups may have different viewpoints, acquiring different criteria for the same subject is possible.

**2) Identifying the Best (B) and the Worst (W) Criteria.**

At this stage, the experts are questioned to determine the criteria that they consider the most important (best) and least important (worst) among the criteria. No pairwise comparison is made at this stage; only the best and worst criteria are determined. If an expert has more than one best or worst criterion, that expert can arbitrarily choose one to be the best or worst.

**3) Creating Best-to-Others Vector**

The value of  $a_{ij}$  indicates the level at which the expert prefers criterion  $i$  over criterion  $j$ . Generally, a Likert scale represents a preference ranging from 1: equal importance to 9: absolute preference.

The Best-to-Others vector ( $A_B$ ), which specifies the preference for the best criterion over all the other criteria, is formed as in Eq. 12.  $A_{Bj}$  denotes the preference of the best criterion  $B$  over the criterion  $j$ .

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \tag{12}$$

**4) Creating the Others-to-Worst Vector**

The Others-to-Worst vector ( $A_W$ ) that shows the preference of all the criteria over the worst criterion ( $W$ ) is created as in Eq. 13 where  $A_{jW}$  gives the preference of the criterion  $j$  over the worst criterion.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \tag{13}$$

**5) Finding the Optimal Weights**

The optimal weights ( $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ ) are calculated by following steps. First of all, for each pair of  $w_B/w_j$  and  $w_j/w_W$ , equalities  $w_B/w_j = a_{Bj}$  and  $w_j/w_W = a_{jW}$  must be satisfied. According to Best Worst Method, the optimal weights are located where these conditions are met. For that purpose, a solution minimizing the maximum absolute differences  $\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|$  and  $\left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right|$  for all  $j$  is searched. Thus, it is a min-max problem. Additional constraints are: the sum of the weights must be 1, and each weight must be greater than or equal to zero. This nonlinear optimization setting can be expressed as follow (Model 1):

$$\begin{aligned} & \min \xi \\ & \text{such that} \\ & \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \quad \forall j \\ & \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi, \quad \forall j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \tag{Model 1}$$

In cases where the number of criteria exceeds three, Model 1 gives multiple optimal solutions. In that case, the lower and upper bounds for the weights can be determined by converting the optimization problem into two optimization problems where the objective functions are min and max, respectively. Thus, the decision maker can determine the optimal weight from this specified range. Another approach

is to use the center of the range as the weight. It is appropriate to set the weights as a range for situations where it would be helpful to discuss the conclusion. However, in cases where flexibility is not aimed and a unique optimum  $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$  is desired, the nonlinear problem is converted to a linear model (Model 2). Model 2 is a good linear approximation of Model 1.

$$\begin{aligned}
 &\min \xi^L \\
 &\text{such that} \\
 &|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \quad \forall j \\
 &|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, \quad \forall j \\
 &\sum_j w_j = 1 \\
 &w_j \geq 0, \quad \forall j
 \end{aligned}
 \tag{Model 2}$$

**6) Consistency Check**

In the BWM method, the equality of  $a_{Bj} \times a_{jW} = a_{BW}$  must be satisfied for all criteria  $j$  to accept the comparisons as entirely consistent. Here,  $a_{Bj}$ ,  $a_{jW}$  and  $a_{BW}$  denotes the preferences of the best criterion over  $j$  th criterion,  $j$  th criterion over the worst criterion, and best criterion over the worst criterion, respectively. But it is unlikely to obtain complete consistency in comparisons.

The Consistency Ratio (CR) (Eq. 14) is computed to quantify consistency.

$$\text{Consistency Ratio (CR)} = \frac{\xi^*}{\text{Consistency Index}} \tag{14}$$

Consistency index values from Table 3 (Rezaei, 2015) are used to find the Consistency Ratio. (CR) takes values in the range [0,1]. Consistency is high if the result is closer to zero, and expert comparisons are more reliable.

**Table 3.** Scores for consistency index

$a_{BW}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Consistency Index (max $\xi$ )	0.00	0.44	1.00	1.63	2.30	3.00	3.73	4.47	5.23

A threshold value is needed to show which values are acceptable. This threshold value is found by examining Table 4 (Liang et al., 2020).

**Table 4.** The threshold for different mixtures of the count of criteria and scale

$(a_{BW})$	Criteria Count						
	3	4	5	6	7	8	9
3	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087	0.2087
4	0.1581	0.2352	0.2738	0.2928	0.3102	0.3154	0.3273
5	0.2111	0.2848	0.3019	0.3309	0.3479	0.3611	0.3741
6	0.2164	0.2922	0.3565	0.3924	0.4061	0.4168	0.4225
7	0.2090	0.3313	0.3734	0.3931	0.4035	0.4108	0.4298
8	0.2267	0.3409	0.4029	0.4230	0.4379	0.4543	0.4599
9	0.2122	0.3653	0.4055	0.4225	0.4445	0.4587	0.4747

For example, if a decision-making problem consists of 9 criteria and the maximum value in the pairwise comparison system is 7, then according to Table 4, the threshold value is 0,4298, which means that values of  $CR$  below 0,4298 are accepted as an indicator of a good comparison.

On the other hand, if linear programming (Model 2) is used to handle the problem, the value  $\xi^{L^*}$  (optimal value of the objective function) can be used as an approximation of the Consistency Ratio.

### 2.3 COPELAND

COPELAND method is one of the widely used methods for combining rankings obtained from different MCDM methods. For this purpose, pairwise comparisons of alternatives are used to obtain a COPELAND score for each alternative based on the number of wins and losses. Using this score, the alternatives are ranked. The steps of the method are as follows (Çakır, 2017; Karakaş Geyik et al., 2022; Ergun et al., 2022):

#### 1) Creating the superiority matrix

$i$  : the rank value of the alternative in the row,  $j$  : the rank value of the alternative in the column,  $k$  : index of the MCDM method,  $r_k(A_i)$  : the rank value of alternative  $i$  according to method  $k$ . By employing pairwise comparisons between ranks of alternatives, the superiority of alternative  $i$  over alternative  $j$  that is denoted as  $f_k(i, j)$  is calculated.

$$f_k(i, j) = \begin{cases} r_k(A_i) < r_k(A_j) \wedge i \neq j \Rightarrow 1 \\ r_k(A_i) > r_k(A_j) \wedge i \neq j \Rightarrow 0 \\ r_k(A_i) = r_k(A_j) \wedge i \neq j \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (15)$$

#### 2) Calculating overall superiorities

$m$  : the total number of MCDM methods.  $S(i, j)$ : Overall superiority of alternative  $i$  to alternative  $j$ .

$$S(i, j) = \sum_{k=1}^m f_k(i, j) \quad (16)$$

#### 3) Determination of win, loss, and tie conditions

$G(i, j)$  gives win, loss, and tie conditions of alternative  $i$  over alternative  $j$

$$G(i, j) = \begin{cases} S(i, j) > S(j, i) \wedge i \neq j \Rightarrow 1 \\ S(i, j) = S(j, i) \wedge i \neq j \Rightarrow \frac{1}{2} \\ S(i, j) < S(j, i) \wedge i \neq j \Rightarrow -1 \end{cases} \quad (17)$$

#### 4) Calculating the COPELAND score

$n$  : total number of alternatives,  $GP_i$  : win score alternative  $i$ , and  $YP_i$  : loss score for alternative  $i$

$$\begin{aligned} GP_i &= \sum_{j=1}^n G(i, j), & G(i, j) > 0 \\ YP_i &= \sum_{j=1}^n G(j, i), & G(j, i) < 0 \end{aligned} \quad (18)$$

$CP_i$ : COPELAND score of alternative  $i$  is:

$$CP_i = GP_i + YP_i \quad (19)$$

### 3. Results

At this point in the study, analyses are conducted utilizing DEMATEL and BWM methodologies on two sets of domestic and international logistics performance criteria. The two methodologies' results are presented separately.

#### 3.1. DEMATEL Results

Firstly, the analysis of the criteria sets for domestic and international logistics activities was carried out by DEMATEL. The criteria sets were presented to the opinion of 6 experts in supply chain management and logistics for pairwise comparison. Experts scored the level of interaction between the criteria using a scale of 0 (any influence) and 4 (very high influence). Table 5 gives the direct relationship matrix computed by taking the expert opinions averages for both sets of criteria. Following the computation steps of the method, cause and effect criteria were determined. Later, the weighted ordering of criteria was presented.

**Table 5.** Direct relationship matrices for domestic and international criteria

<i>C<sub>D</sub></i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>D<sub>3</sub></i>	<i>D<sub>4</sub></i>	<i>D<sub>5</sub></i>	<i>D<sub>6</sub></i>	<i>D<sub>7</sub></i>	<i>D<sub>8</sub></i>	<i>D<sub>9</sub></i>
<i>D<sub>1</sub></i>	0,00	2,67	2,00	2,67	3,33	2,17	3,00	3,33	1,67
<i>D<sub>2</sub></i>	3,33	0,00	2,67	2,83	3,67	2,33	2,50	1,67	3,00
<i>D<sub>3</sub></i>	3,50	3,00	0,00	2,67	3,00	1,83	3,00	2,67	3,83
<i>D<sub>4</sub></i>	3,17	3,17	2,00	0,00	2,83	1,83	2,50	2,00	2,83
<i>D<sub>5</sub></i>	3,83	3,17	2,17	2,33	0,00	2,17	2,50	3,00	3,17
<i>D<sub>6</sub></i>	2,50	1,83	1,67	2,00	2,67	0,00	2,17	1,83	2,67
<i>D<sub>7</sub></i>	2,83	2,67	2,67	2,83	3,17	2,50	0,00	2,50	2,67
<i>D<sub>8</sub></i>	3,00	1,83	2,67	2,00	2,50	1,33	2,17	0,00	2,33
<i>D<sub>9</sub></i>	3,17	2,67	3,50	2,83	3,00	2,00	2,50	2,67	0,00
<i>C<sub>I</sub></i>	<i>I<sub>1</sub></i>	<i>I<sub>2</sub></i>	<i>I<sub>3</sub></i>	<i>I<sub>4</sub></i>	<i>I<sub>5</sub></i>	<i>I<sub>6</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>8</sub></i>	<i>I<sub>9</sub></i>
<i>I<sub>1</sub></i>	0,00	2,83	3,83	2,67	2,33	3,50	1,50	4,00	2,33
<i>I<sub>2</sub></i>	3,17	0,00	3,33	3,50	3,67	3,83	3,33	3,33	2,67
<i>I<sub>3</sub></i>	3,83	2,33	0,00	2,83	3,17	3,00	1,67	3,67	2,00
<i>I<sub>4</sub></i>	1,83	2,33	2,83	0,00	3,33	3,33	3,00	3,17	2,50
<i>I<sub>5</sub></i>	2,33	2,67	3,17	2,83	0,00	3,33	3,17	3,50	2,67
<i>I<sub>6</sub></i>	2,17	2,00	3,00	3,67	3,17	0,00	2,50	3,00	1,83
<i>I<sub>7</sub></i>	1,17	2,83	2,00	3,33	2,83	2,33	0,00	1,50	1,67
<i>I<sub>8</sub></i>	3,50	3,33	3,50	3,17	2,67	2,50	2,17	0,00	2,00
<i>I<sub>9</sub></i>	2,17	2,83	2,83	2,67	2,83	2,67	2,00	2,00	0,00

Row and column sums were computed separately for domestic and international direct relationship matrices. The normalized direct relationship matrices (Table 6) were constructed by multiplying the direct relationship matrix by the largest of sums ( $k = 25.33$  for domestic criteria and  $k = 26.83$  for international criteria).

**Table 6.** The normalized direct relationship matrices for domestic and international criteria.

$C_D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
$D_1$	0,00	0,11	0,08	0,11	0,13	0,09	0,12	0,13	0,07
$D_2$	0,13	0,00	0,11	0,11	0,14	0,09	0,10	0,07	0,12
$D_3$	0,14	0,12	0,00	0,11	0,12	0,07	0,12	0,11	0,15
$D_4$	0,13	0,13	0,08	0,00	0,11	0,07	0,10	0,08	0,11
$D_5$	0,15	0,13	0,09	0,09	0,00	0,09	0,10	0,12	0,13
$D_6$	0,10	0,07	0,07	0,08	0,11	0,00	0,09	0,07	0,11
$D_7$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,10	0,00	0,10	0,11
$D_8$	0,12	0,07	0,11	0,08	0,10	0,05	0,09	0,00	0,09
$D_9$	0,13	0,11	0,14	0,11	0,12	0,08	0,10	0,11	0,00
$C_I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$
$I_1$	0,00	0,11	0,14	0,10	0,09	0,13	0,06	0,15	0,09
$I_2$	0,12	0,00	0,12	0,13	0,14	0,14	0,12	0,12	0,10
$I_3$	0,14	0,09	0,00	0,11	0,12	0,11	0,06	0,14	0,07
$I_4$	0,07	0,09	0,11	0,00	0,12	0,12	0,11	0,12	0,09
$I_5$	0,09	0,10	0,12	0,11	0,00	0,12	0,12	0,13	0,10
$I_6$	0,08	0,07	0,11	0,14	0,12	0,00	0,09	0,11	0,07
$I_7$	0,04	0,11	0,07	0,12	0,11	0,09	0,00	0,06	0,06
$I_8$	0,13	0,12	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,00	0,07
$I_9$	0,08	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,07	0,07	0,00

Applying Eq. 5, the Total Relationship matrices (Table 7) were gained.

**Table 7.** Total relationship matrices (Threshold value for domestic=0,54, and international=0,55)

$C_D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
$D_1$	0,54	0,55	0,49	0,53	0,63	0,44	0,55	0,55	0,53
$D_2$	0,69	0,49	0,54	0,57	0,68	0,46	0,56	0,52	0,61
$D_3$	0,73	0,62	0,48	0,59	0,69	0,47	0,60	0,58	0,66
$D_4$	0,64	0,56	0,49	0,43	0,61	0,42	0,53	0,50	0,57
$D_5$	0,71	0,60	0,53	0,55	0,55	0,46	0,56	0,57	0,61
$D_6$	0,55	0,46	0,42	0,44	0,53	0,30	0,45	0,44	0,49
$D_7$	0,67	0,57	0,54	0,56	0,65	0,46	0,46	0,54	0,59
$D_8$	0,58	0,47	0,46	0,46	0,54	0,36	0,47	0,38	0,50
$D_9$	0,69	0,59	0,58	0,57	0,66	0,46	0,57	0,56	0,51
$C_I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$
$I_1$	0,45	0,55	0,65	0,62	0,60	0,64	0,48	0,66	0,47
$I_2$	0,61	0,52	0,71	0,72	0,71	0,72	0,60	0,71	0,53
$I_3$	0,56	0,53	0,52	0,61	0,61	0,62	0,48	0,64	0,45
$I_4$	0,49	0,52	0,60	0,51	0,61	0,62	0,51	0,61	0,46
$I_5$	0,53	0,55	0,64	0,63	0,52	0,64	0,54	0,65	0,48
$I_6$	0,49	0,49	0,59	0,61	0,58	0,49	0,48	0,59	0,43
$I_7$	0,39	0,45	0,48	0,53	0,50	0,49	0,34	0,46	0,36
$I_8$	0,56	0,57	0,64	0,63	0,60	0,61	0,50	0,53	0,46
$I_9$	0,47	0,50	0,56	0,55	0,55	0,55	0,44	0,53	0,34

The total relationship matrix shows entire direct and indirect relationships among criteria. Since there are nine criteria in each criterion set, there are 81 relations for each class. That is, the total number of relationships is high. The relationships between some criteria are not very important. To determine the critical relationships and to examine the relationships more efficiently, the threshold values were calculated by taking the averages of the matrices. As a result, the international criteria set's threshold value was 0.55, while it was 0.54 for the domestic criteria set. Interrelationships above the threshold value are shown in grey color in Table 7. Certain circumstances can be observed clearly when the total relationship matrix is examined. For instance, it is seen that the  $D_6$  criterion does not get a significant effect from other criteria, and at the same time, it does not significantly affect other variables except for the  $D_1$  criterion. Also,  $D_3$ ,  $D_5$  and  $D_9$  appear to affect the greatest number of criteria above the threshold value.  $I_7$  does not have a significant impact on any criteria. Criterion  $I_9$  does not get a significant impact from any of the other criteria, and the only criterion where the  $I_7$  criterion gets a significant effect, is  $I_2$ . Moreover, the criterion that significantly impacts the highest number of criteria seems to be  $I_2$ .

Prominence and Relation values calculated according to the data obtained from the total relationship matrix are shown in Table 8. According to these values, the criteria are grouped into Cause and Effect groups. In addition, the order of importance of each criterion is given. The criteria weights were computed using Equations (10) - (11).

**Table 8.** Criteria in Cause-and-Effect groups and their rankings.

$C_D$	R	C	R+C (Prominence)	R-C (Relation)	Cause/Effect Group	Weight	Rank
$D_1$	4,81	4,55	9,36	0,26	Cause	0,1058	8
$D_2$	5,12	4,68	9,80	0,43	Cause	0,1108	4
$D_3$	5,43	5,39	10,82	0,04	Cause	0,1222	1
$D_4$	4,75	5,42	10,17	-0,66	Effect	0,1152	3
$D_5$	5,15	5,29	10,43	-0,14	Effect	0,1179	2
$D_6$	4,09	5,38	9,47	-1,30	Effect	0,1080	6
$D_7$	5,05	4,35	9,40	0,70	Cause	0,1065	7
$D_8$	4,22	5,37	9,59	-1,15	Effect	0,1091	5
$D_9$	5,18	3,99	9,17	1,19	Cause	0,1044	9
$C_I$	R	C	R + C (Prominence)	R - C (Relation)	Cause/Effect Group	Weight	Rank
$I_1$	5,12	4,55	9,67	0,57	Cause	0,1089	7
$I_2$	5,83	4,68	10,52	1,15	Cause	0,1189	1
$I_3$	5,02	5,39	10,41	-0,37	Effect	0,1170	4
$I_4$	4,92	5,42	10,34	-0,50	Effect	0,1163	5
$I_5$	5,19	5,29	10,48	-0,10	Effect	0,1178	2
$I_6$	4,74	5,38	10,12	-0,64	Effect	0,1140	6
$I_7$	4,01	4,35	8,36	-0,35	Effect	0,0940	9
$I_8$	5,10	5,37	10,46	-0,27	Effect	0,1176	3
$I_9$	4,49	3,99	8,48	0,50	Cause	0,0955	8

Considering the domestic set, the criteria in the cause group are ( $D_1, D_2, D_3, D_7,$  and  $D_9$ ). The remaining criteria are in the effect group. The cause criteria are ( $I_1, I_2,$  and  $I_9$ ) for the international set. Based on the prominence values, the criteria that have the most interrelationship with other criteria in the domestic set are  $D_3, D_5,$  and  $D_4$  respectively. At the same time, these criteria are in the first three places in the weight ranking order. While  $D_3$  is in the cause group, which is identified as the most crucial criterion,  $D_5$  and  $D_4$  are in the effect group. Considering the prominence values, the criteria that have the most interrelationship with the other criteria in the international set were determined as  $I_2, I_5,$  and  $I_8$  respectively. They also form the top three in the weight ranking order. It is seen that the weights of the criteria in both sets are close to each other, showing that the criteria have similar importance.

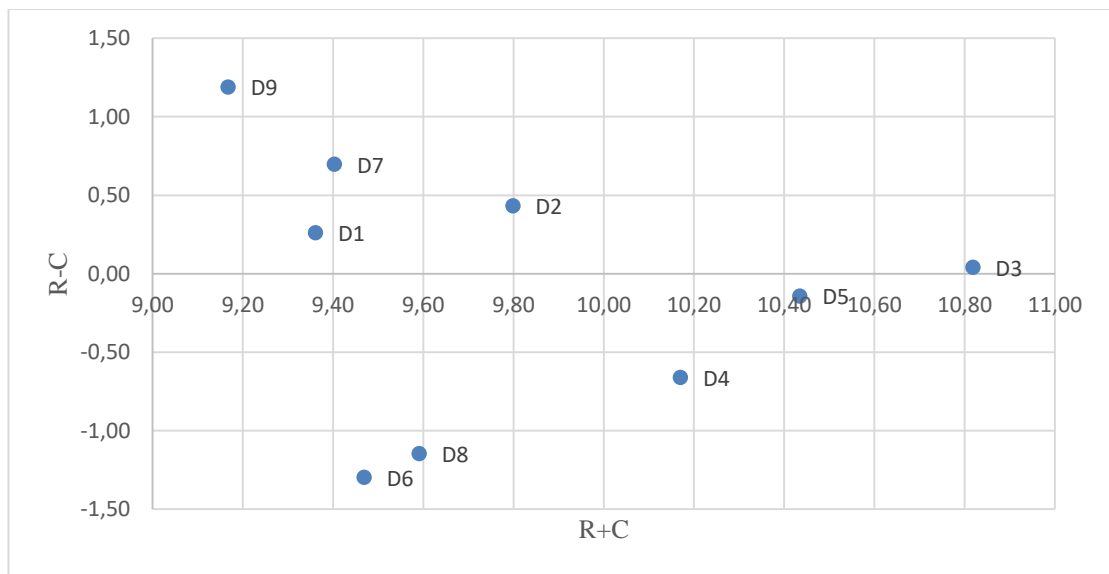
Table 9 shows the order of importance based on the weights computed by DEMATEL for the domestic and international criteria.

**Table 9.** Ranking of the weights for domestic and international criteria (DEMATEL Method)

<i>Domestic Criteria</i>			<i>International Criteria</i>		
<b>Criteria</b>	<b>Weight</b>	<b>Rank</b>	<b>Criteria</b>	<b>Weight</b>	<b>Rank</b>
D3	0,1222	1	I2	0,1189	1
D5	0,1179	2	I5	0,1178	2
D4	0,1152	3	I8	0,1176	3
D2	0,1108	4	I3	0,1170	4
D8	0,1091	5	I4	0,1163	5
D6	0,1080	6	I6	0,1140	6
D7	0,1065	7	I1	0,1089	7
D1	0,1058	8	I9	0,0955	8
D9	0,1044	9	I7	0,0940	9

Cause and Effect Diagram for domestic criteria can be viewed in Figure 1.

**Figure 1.** Domestic Criteria- Cause and Effect Diagram



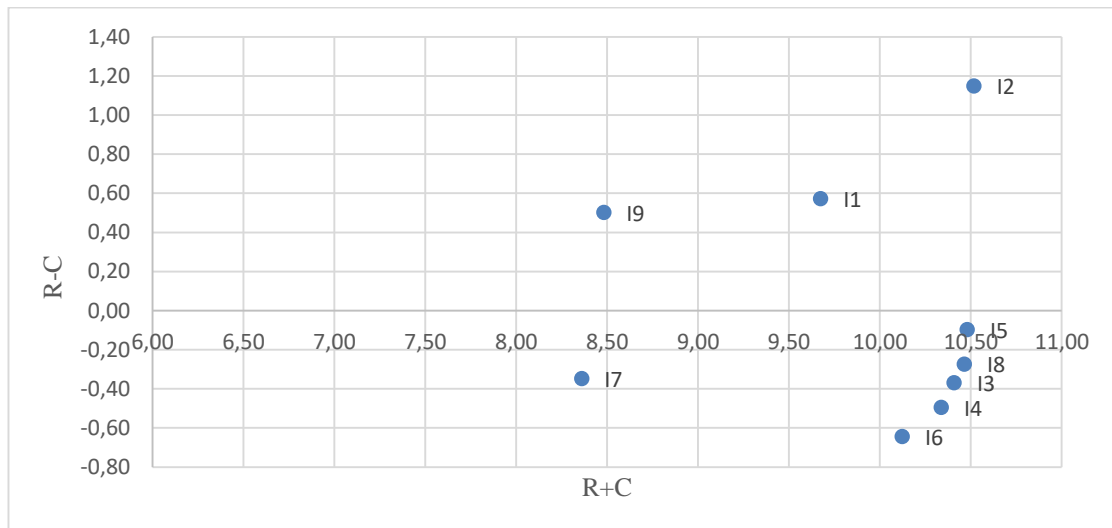
When the  $R + C$  (Prominence) average is considered, the criteria on the Cause-and-Effect Diagram can be divided into four quadrants (Si et al., 2018). The  $R + C$  average for the domestic class was found to be 9.80. Those with a Prominence value greater or equal to the average were regarded as "High Prominence," and the others were regarded as "Low Prominence". Those with positive  $R - C$  (Relation) values were referred to as "High Relation" and others were referred to as "Low Relation." These four subgroups provide more detailed information regarding the characteristics of the criteria, as shown in Table 10.

**Table 10.** Subgroups of domestic criteria

<i>Zone</i>	<i>Explanation</i>	<i>Criteria</i>
Zone I	Core elements or interconnected givers (High visibility and high relationship)	$D_2, D_3$
Zone II	Driving elements or independent givers (Low visibility but high relationship)	$D_1, D_7, D_9$
Zone III	Independent elements or independent receivers (Low visibility and low relationship)	$D_6, D_8$
Zone IV	Impact elements or interconnected receivers (High visibility but low relationships)	$D_4, D_5$

Figure 2 presents the Cause and Effect Diagram for international criteria.

**Figure 2.** Cause and Effect Diagram for international criteria



The average Prominence for the international criteria is 9,87. Based on this average value, quadrants (zones) and their corresponding explanations are presented in Table 11.

**Table 11.** Subgroups of international criteria

<i>Quadrant</i>	<i>Explanation</i>	<i>Criteria</i>
Zone I	Core elements or interconnected givers (High visibility and high relationship)	$I_2$
Zone II	Driving elements or independent givers (Low visibility but high relationship)	$I_1, I_9$
Zone III	Independent elements or independent receivers (Low visibility and low relationship)	$I_7$
Zone IV	Impact elements or interconnected receivers (High visibility but low relationship)	$I_3, I_4, I_5, I_6, I_8$



### 3.2. BWM Results

As an alternative method, the weights of domestic and international criteria for logistics performance were computed by the BWM method as the study's second phase. Firstly, experts specified the best and worst criteria for two criteria sets. Then, reference comparisons were performed on these criteria sets. Finally, the criteria were ranked based on the weights computed.

When Table 12 is examined, it is observed that four experts chose  $D_1$ , one expert selected  $D_5$  and  $D_7$  as the best criteria for the domestic set. While three experts chose  $D_7$  as the worst domestic criterion, two experts chose  $D_8$  and one expert chose  $D_6$ . While there is no consensus for the best criterion in the international set, all experts chose the  $I_7$  criterion for the worst criterion. Also, Table 12 shows that the values of  $\xi^*$  (objective function values obtained as a result of solving the optimization models) are less than the corresponding threshold values. It is concluded that all comparisons are consistent. For both criteria sets, the most consistent evaluation belongs to Expert 5, whose  $\xi^*$  value is closest to 0.

**Table 12.** The best and worst criteria, according to expert opinions.

<i>Expert</i>	<i>The best criterion</i>	<i>The worst criterion</i>	$\xi^*$	<i>Threshold</i>	<i>Consistency</i>
1	$D_1$	$D_7$	0,0889	0,2087	Consistent
2	$D_7$	$D_8$	0,1294	0,4298	Consistent
3	$D_1$	$D_8$	0,1398	0,4747	Consistent
4	$D_5$	$D_6$	0,1458	0,4298	Consistent
5	$D_1$	$D_7$	0,0469	0,3741	Consistent
6	$D_1$	$D_7$	0,0694	0,4298	Consistent
<i>Expert</i>	<i>The best criterion</i>	<i>The worst criterion</i>	$\xi^*$	<i>Threshold</i>	<i>Consistency</i>
1	$I_3$	$I_7$	0,0647	0,3741	Consistent
2	$I_2$	$I_7$	0,2186	0,4599	Consistent
3	$I_4$	$I_7$	0,1665	0,4298	Consistent
4	$I_8$	$I_7$	0,1921	0,3741	Consistent
5	$I_3$	$I_7$	0,0562	0,3741	Consistent
6	$I_1$	$I_7$	0,0904	0,4225	Consistent

Table 13 and Table 14 present the vectors obtained as a result of the best-to-others and others-to-worst comparisons made by each expert for the domestic and international criteria sets. A Likert scale with values between 1 and 9 was used for reference comparisons.

**Table 13.** Best to others pairwise comparison vectors for all experts.

<i>Expert</i>	<i>Best to Others</i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>D<sub>3</sub></i>	<i>D<sub>4</sub></i>	<i>D<sub>5</sub></i>	<i>D<sub>6</sub></i>	<i>D<sub>7</sub></i>	<i>D<sub>8</sub></i>	<i>D<sub>9</sub></i>
1	<i>D<sub>1</sub></i>	1	2	4	5	2	3	3	2	5
2	<i>D<sub>7</sub></i>	3	7	7	9	9	7	1	7	9
3	<i>D<sub>1</sub></i>	1	7	5	5	7	6	7	9	7
4	<i>D<sub>5</sub></i>	5	3	5	3	1	7	3	3	3
5	<i>D<sub>1</sub></i>	1	1	3	3	2	5	5	1	2
6	<i>D<sub>1</sub></i>	1	1	3	3	3	4	7	3	6

<i>Expert</i>	<i>Best to Others</i>	<i>I<sub>1</sub></i>	<i>I<sub>2</sub></i>	<i>I<sub>3</sub></i>	<i>I<sub>4</sub></i>	<i>I<sub>5</sub></i>	<i>I<sub>6</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>8</sub></i>	<i>I<sub>9</sub></i>
1	<i>I<sub>3</sub></i>	2	4	1	3	3	4	5	2	5
2	<i>I<sub>2</sub></i>	6	1	9	9	8	8	8	8	7
3	<i>I<sub>4</sub></i>	5	7	8	1	5	3	7	5	5
4	<i>I<sub>8</sub></i>	5	5	5	5	3	3	5	1	3
5	<i>I<sub>3</sub></i>	3	5	1	3	5	2	5	1	2
6	<i>I<sub>1</sub></i>	1	3	3	5	5	3	6	3	5

**Table 14.** Others to the Worst pairwise comparison vectors for all experts

<i>Expert No</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<b>Others to the Worst</b>	<i>D<sub>7</sub></i>	<i>D<sub>8</sub></i>	<i>D<sub>8</sub></i>	<i>D<sub>6</sub></i>	<i>D<sub>7</sub></i>	<i>D<sub>7</sub></i>
<i>D<sub>1</sub></i>	5	5	9	7	7	7
<i>D<sub>2</sub></i>	4	2	7	5	5	5
<i>D<sub>3</sub></i>	4	3	5	5	3	5
<i>D<sub>4</sub></i>	2	3	7	3	2	3
<i>D<sub>5</sub></i>	5	5	8	6	5	6
<i>D<sub>6</sub></i>	2	2	5	6	3	6
<i>D<sub>7</sub></i>	1	7	5	1	1	1
<i>D<sub>8</sub></i>	3	1	1	4	3	4
<i>D<sub>9</sub></i>	3	4	3	2	3	2

<b>Others to the Worst</b>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>	<i>I<sub>7</sub></i>
<i>I<sub>1</sub></i>	4	3	7	1	5	6
<i>I<sub>2</sub></i>	4	3	6	7	3	5
<i>I<sub>3</sub></i>	6	5	8	1	5	5
<i>I<sub>4</sub></i>	2	5	5	9	2	4
<i>I<sub>5</sub></i>	3	3	3	7	3	4
<i>I<sub>6</sub></i>	3	5	7	7	5	6
<i>I<sub>7</sub></i>	1	1	1	1	1	1
<i>I<sub>8</sub></i>	5	5	7	1	7	7
<i>I<sub>9</sub></i>	2	2	3	7	5	5

The BWM approach generated a weight value for each domestic and international criterion through coherent pairwise comparisons and the solution of the optimization model. Table 15 displays the ranking of the criteria based on these calculated weights.

**Table 15.** Ranking of the weights for domestic and international criteria (BWM Method)

<i>Domestic Criteria</i>			<i>International Criteria</i>		
<b>Criteria</b>	<b>Weight</b>	<b>Rank</b>	<b>Criteria</b>	<b>Weight</b>	<b>Rank</b>
$D_1$	0,2120	1	$I_8$	0,1533	1
$D_2$	0,1372	2	$I_2$	0,1314	2
$D_5$	0,1241	3	$I_3$	0,1280	3
$D_7$	0,0991	4	$I_1$	0,1225	4
$D_8$	0,0980	5	$I_4$	0,1194	5
$D_4$	0,0888	6	$I_6$	0,1160	6
$D_3$	0,0855	7	$I_9$	0,0967	7
$D_9$	0,0817	8	$I_5$	0,0890	8
$D_6$	0,0735	9	$I_7$	0,0437	9

The COPELAND method was applied to combine the rankings obtained from the DEMATEL and BWM methods. Table 16 and Table 17 include the common rankings obtained by the COPELAND method for Domestic and International criteria, respectively.

**Table 16.** Ranking of the weights for domestic criteria obtained from DEMATEL, BWM and COPELAND

	<b>DEMATEL</b>	<b>BWM</b>	<b>COPELAND</b>
$D_1$	8	1	4
$D_2$	4	2	2
$D_3$	1	7	3
$D_4$	3	6	5
$D_5$	2	3	1
$D_6$	6	9	8
$D_7$	7	4	7
$D_8$	5	5	6
$D_9$	9	8	9

Spearman Rank Correlation was calculated to show the similarity of the combined ranking obtained by the COPELAND method with the other two methods. Accordingly, while the correlation between the final ranking given by the COPELAND method and the DEMATEL ranking is 0,72, this value was obtained as 0,65 by the BWM method.

**Table 17.** Ranking of the weights for international criteria obtained from DEMATEL, BWM and COPELAND

	DEMATEL	BWM	COPELAND
$I_1$	7	4	6
$I_2$	1	2	1
$I_3$	4	3	3
$I_4$	5	5	5
$I_5$	2	8	4
$I_6$	6	6	6
$I_7$	9	9	9
$I_8$	3	1	2
$I_9$	9	8	9

Spearman rank correlation between DEMATEL and COPELAND was 0.94. For BWM and COPELAND correlation was obtained as 0.80. These results show that the methods produce more similar results for international criteria than for domestic criteria.

#### 4. Discussion

The pandemic, war, large-scale fires, and other adverse conditions that have emerged in recent years have caused countries to make strategic logistics management decisions. In this sense, improving the significant criteria affecting logistics performance has become an important goal. Countries that improve their logistics performance will be able to have national and international economic sustainability. The first step to expand their logistics performance will be to determine the criteria that affect the performance and to analyze their importance levels using practical methods.

This study determined the criteria affecting logistics performance in two classes (domestic and international) and analyzed them by two MCDM methods. Criteria compiled from current scientific literature, national/global indexes, and reports were investigated using expert opinions. As an analysis method, DEMATEL was preferred to evaluate the relationships between complex criteria regarding causality. This method was considered appropriate since the performance criteria in logistics have solid causal relationships with each other. The study also used the BWM method as an alternative comparison method since it provides consistent results by making fewer pairwise comparisons. The results obtained with these two methods were combined with the COPELAND method, which is one of the most frequently used methods for this purpose in the literature.

The findings have shown the relative weights of the importance rankings of domestic and international performance criteria. According to DEMATEL's findings, "Technology and Telecommunication" ( $D_3$ ) is the most critical domestic performance criterion. Rankings obtained is  $D_3 > D_5 > D_4 > D_2 > D_8 > D_6 > D_7 > D_1 > D_9$ . For international performance, the most important criterion is "Logistics Infrastructure" ( $I_2$ ) and the final ranking is  $I_2 > I_5 > I_8 > I_3 > I_4 > I_6 > I_1 > I_9 > I_7$ . According to BWM findings, the most critical domestic performance criterion is "Logistics Costs" ( $D_1$ ), while the final ranking is  $D_1 > D_2 > D_5 > D_7 > D_8 > D_4 > D_3 > D_9 > D_6$ . The most important of the international performance criterion is determined as "International Logistics Opportunities" ( $I_8$ ), the final ranking is  $I_8 > I_2 > I_3 > I_1 > I_4 > I_6 > I_9 > I_5 > I_7$ . The results show that the criteria rankings are different for both methods within the scope of domestic and international evaluations. This variation may result from the two methodologies' different approaches. COPELAND presented a new evaluation using the results of both. This feature allowed the two methods used to be repeated and evaluated jointly. In COPELAND's view, Logistics Services ( $D_5$ ) is the critical domestic logistics performance criterion. Logistics service expenditures have gained importance due to increasing energy costs in the crisis environment. For international performance,

"*Logistics Infrastructure*" ( $I_2$ ) was analyzed as the most important criterion. This result is consistent with DEMATEL and shows how important what is offered as logistics is in terms of logistics sustainability.

According to the study's results, it is understood that the most effective ones among the domestic logistics performance criteria are "*Technology and Telecommunication*" and "*Logistics Costs*." Today, due to the increasing importance of technology investments in the logistics sector, "*Technology and Telecommunication*" is regarded as the most crucial criterion by DEMATEL. BWM presents "*Logistics Costs*" as the most critical criterion due to the cost increases in a crisis. It is seen that the most effective ones among the international performance criteria are "*Logistics Infrastructure*" and "*Logistics Opportunities*."

In the international supply chain system, it is understood that the "*Logistics Infrastructure*" criterion, according to the DEMATEL method, is preferred as the most critical criterion due to the high demand and supply shortage that emerged under the crisis conditions. Similarly, it can be interpreted that the BWM method presented the "*Logistics Opportunities*" criteria as the most important due to the international effect of the economic opportunities created by the uncertain environment.

Accordingly, governments should revise their infrastructure and technology investments and assess new logistics options to improve domestic and international logistics performance. In light of current assessments, it will be crucial for the management of sustainable supply chains that the logistics activities are reorganized in uncertain environments, such as pandemics, war, and famine.

### Researchers' Contribution Rate Statement

The contribution rates of the authors in the study are equal.

### Acknowledgment and/or disclaimers

.....

### Conflict of Interest Statement

There are no conflicts of interest to disclose for the writers.

### References

**Agility Emerging Markets Logistics Index.** (2022). AEMLI-2022, Accessed: 22 December 2022, <https://www.agility.com/en/emerging-markets-logistics-index/>.

**Agyekum, E. B., Kumar, N. M., Mehmood, U., Panjwani, M. K., Haes Alhelou, H., Adebayo, T. S., Al-Hinai, A.** (2021). Decarbonize Russia—A Best–Worst Method approach for assessing the renewable energy potentials, opportunities and challenges. *Energy Reports*, 7, 4498–4515. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.039>

**Aksakal E, Dağdeviren M.** (2010). ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 905-913.

**Andrejic, M. & Kilibarda, M.** (2014). Global Logistics Efficiency Index, 8th International Quality Conference, 857-862.

**Arvis, Jean-François, Ben Shepherd, Yann Duval, and Chorthip Utoktham.** (2016). Trade Costs and Development: A New Data Set. *Economic Premise*, January 2016, Issue 104. World Bank, Poverty Reduction and Economic Management Network, Washington, DC.

**Banomyong, R., Thai, V.V., Yuen K.F.,** (2015). Assessing the national logistics system of Vietnam. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(1), 21-58.

**Beemsterboer, D. J. C., Hendrix, E. M. T., Claassen, G. D. H.** (2018). On solving the Best-Worst Method in multi-criteria decision-making. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1660–1665. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.218>

**Blome C. And Schoenherr T.** (2011), 'Supply Risk Management in Financial Crises – A Multiple Case-Study Approach,' *International Journal of Production Economics*, Vol. 134, No. 1, pp. 43-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.01.002>

**Bonney, M., & Jaber, M. Y.** (2013). Developing an input–output activity matrix (IOAM) for environmental and economic analysis of manufacturing systems and logistics chains. *International Journal of Production Economics*, 143, 589–597. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.12.016>

**Boopen, S.** (2006). Transport Infrastructure and Economic Growth: Evidence from Africa Using Dynamic Panel Estimates. *The Empirical Economics Letters*, 5(1), 37-52.

**Bouzon, M., Govindan, K., Rodriguez, C. M. T.** (2018). Evaluating barriers for reverse logistics implementation under a multiple stakeholders' perspective analysis using grey decision-making approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 315–335. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.022>

**Büyüközkan, G., Feyzioglu, O., & Sakir Ersoy, M.** (2009). Evaluation of 4PL operating models: A decision making approach based on 2-additive Choquet integral. *International Journal of Production Economics*, 121(1), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.03.013>

**Büyüközkan, G., Güleriyüz, S., Karpak, B.** (2017). A new combined IF-DEMATEL and IF-ANP approach for CRM partner evaluation. *International Journal of Production Economics*, 191, 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.05.012>

**Çakir, E.** (2017). Kriter Ağırlıklarının SWARA – COPELAND Yöntemi ile Belirlenmesi: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 42–56. <https://doi.org/10.30803/adusobed.309069>

**Caplice, C., & Sheffi, Y.** (1995). A review and evaluation of logistics performance measurement systems. *International Journal of Logistics Management*, 6(1), 61–74.

**Çekerol, G. S. and Kurnaz, N.** (2011). Küresel Kriz Ekseninde Lojistik Sektörü ve Rekabet Analizi . *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* , (25) , 47-59.

**Chang, B., Chang, C.-W., Wu, C.-H.** (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1850–1858. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.114>

**Chow, G., Heaver, T. D., & Henriksson, L. E.** (1994). Logistics performance: Definition and measurement. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24(1), 17–28. <https://doi.org/10.1108/09600039410055981>

**Dalalah, D., Hayajneh, M., Batiha, F.** (2011). A fuzzy multi-criteria decision-making model for supplier selection. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8384–8391. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.031>

**Dang, V. L. & Yeo, G. T.,** (2018). Weighing the Key Factors to Improve Vietnam's Logistics System, *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 34(4), 308-316.

**Djankov, S., Freund, C. & Pham, C. S.** (2006). Trading on Time [Working Paper N° 3909]. The World Bank Policy Research Working Paper, Washington, D.C., 39.

- Du, S.** (2023). Hybrid Kano-DEMATEL-TOPSIS model-based benefit distribution of multiple logistics service providers considering consumer service evaluation of segmented task. *Expert Systems with Applications*, 213, 119292. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119292>
- Ekin, E., Sarul, L. S.** (2022). Investigation Of Smart City Components by AHP- BWM-FUCOM and DEMATEL Methods. *Alphanumeric Journal*. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.1210018>
- Ergun, H., Glal, M., & Kiliğarslan, A.** (2022). Lisanslı Depoculuk Sektöründe Faaliyet Gösteren Şirketlerin Őişlem Performanslarının ok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Olęlmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 94, 105–132. <https://doi.org/10.25095/mufad.1054068>
- Eygü, H. & Kılınę, A.** (2020). OECD lkelerinin Lojistik Performans Endekslerinin Ridge Regresyon Analizi İle Araştırılması. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(2) ,899-919.
- Fechner, I.** (2010). Role of logistics centres in national logistics system. *Electronic Scientific Journal of Logistics*, 6(2).
- Folinas, D., Naoum T., and Dimitrios A.** (2018). "Logistics Services Sector and Economic Recession in Greece: Challenges and Opportunities" *Logistics* 2, no. 3: 16. <https://doi.org/10.3390/logistics2030016>
- Gabus, A., Fontela, E.** (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
- Ggebakan, M.** (2022). lkelerin lojistik performanslarının Entropi tabanlı TOPSIS yöntemine göre sıralanması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5 (2) , 146-156. DOI: 10.51513/jitsa.1128888
- Gök Kısa, A. C. & Ayęin, E.** (2019). OECD lkelerinin Lojistik Performanslarının SWARA Tabanlı EDAS Yöntemi ile Değerlendirilmesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (1) , 301-325. DOI: 10.18074/ckuiibfd.500320
- Gölcük, İ., Baykasoğlu, A.** (2016). An analysis of DEMATEL approaches for criteria interaction handling within ANP. *Expert Systems with Applications*, 46, 346–366. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.041>
- Guarnieri, P., Sobreiro, V. A., Nagan, M. S., & Serrano, A. L. M.** (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multi-criteria perspective: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, 96, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040>
- Gunasekaran, A., & Kobu, B.** (2007). Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: A review of recent literature (1995–2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, 45(12), 2819–2840. <https://doi.org/10.1080/00207540600806513>
- Hamdan, A., & Rogers, K. J.** (2008). Evaluating the efficiency of 3PL logistics operations. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.019>
- Hausman, Warren H., Lee, Hau L. and Subramanian, Subramanian, U.** (2005). Global Logistics Indicators, Supply Chain Metrics, and Bilateral Trade Patterns. World Bank Policy Research Working Paper No. 3773, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.869999>
- Hsieh, C.-H., Zhang, M.** (2022). Critical factors affecting performance of logistics operation planning considering interdependency: A case study in automotive aftermarket. *Asian Transport Studies*, 8, 100055. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2022.100055>

**Hsu, C.-T., Chou, M.-T., Ding, J.-F.** (2023). Key factors for the success of smart ports during the post-pandemic era. *Ocean & Coastal Management*, 233, 106455. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106455>

**Hsu, C.-W., Kuo, T.-C., Chen, S.-H., Hu, A. H.** (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 56, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.012>

**Jhawar, A. & Garg, S. K.** (2018). Modeling of Critical Factors for Improving Logistics Performance of India Using Interpretive Structural Modelling. *International Journal of Applied Management Sciences and Engineering*, 5(1).

**Jüttner, U. and Maklan, S.** (2011), "Supply chain resilience in the global financial crisis: an empirical study", *Supply Chain Management*, Vol. 16 No. 4, pp. 246-259. <https://doi.org/10.1108/13598541111139062>

**K. Sharipbekova & Z. Raimbekov,** (2018). Influence of Logistics Efficiency on Economic Growth of the CIS Countries, *European Research Studies Journal*, *European Research Studies Journal*, 0(2), 678-690.

**Kálmán, B., & Tóth, A.** (2021). "Links between the economy competitiveness and logistics performance in the Visegrád Group countries: Empirical evidence for the years 2007-2018". *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 9(3), 169-190. <https://doi.org/10.15678/EBER.2021.090311>

**Karakaş Geyik, S., Satman, M., & Kalyoncu, G.** (2022). G20 Ülkelerinin Covid-19 Pandemisi ile Mücadele Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics*, 0(37), 27–52. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2022.37.1161945>

**Karim, N. H., Abdul Rahman, N.S. F., Syed Johari Shah, S. F. S.,** (2018). Empirical evidence on failure factors of warehouse productivity in Malaysian logistics service sector. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 34 (2), 151-160.

**Kauppinen and Lindqvist.,** (2006). Elements for European logistics policy: a discussion paper. Ministry of Transport and Communications, Helsinki, Finland.

**Kilic, H. S., Yurdaer, P., Aglan, C.** (2021). A leanness assessment methodology based on neutrosophic DEMATEL. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 320–344. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.003>

**Korinek, J. & Sourdin, P.** (2011). To What Extent Are High-Quality Logistics Services Trade Facilitating? OECD Trade Policy Working Papers, No.108, 1-42, OECD Publishing.

**Lai, K. H., Ngai, E. W., & Cheng, T. C. E.** (2002). Measures for evaluating supply chain performance in transport logistics. In *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* (pp. 38(6), 439–456).

**Lambert, Douglas M., James R. Stock and Lisa M. Ellram** (1998), *Fundamentals of Logistics Management*, Irwin McGraw-Hill, USA.

**Landers, Thomas L., Alejandro Mendoza and John R. English** (2008), "*Logistics Metrics*", Introduction to Logistics Engineering, Ed. Don Taylor, CRC Press, USA.

**Lebas , M. J.** (1995). *Performance measurement and performance management. Int. J. Production Economic*, s. 23-35.

**Levchenko, A.** (2004). Institutional Quality and International Trade [Working Paper N° 04/231]. International Monetary Fund. Washington, D.C.



- Liang, F., Brunelli, M., Rezaei, J.** (2020). Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102175>
- Lu, C.S., Lin, C.C.,** (2012). Assessment of national logistics competence in Taiwan, Vietnam, and Malaysia. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 28(2), 255-274.
- Manavgat, G. & Demirci, A.** (2021). Lojistik Performans Endeksi Tutarlılığının Sıralı Lojistik Regresyon Modeliyle İncelenmesi. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 16 (64), 1856-1871. DOI: 10.19168/jyasar.934418
- Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S., Sassi, C., & Tappia, E.** (2017). Value creation models in the 3PL industry: What 3PL providers do to cope with shipper requirements. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(6), 472–494. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-04-2016-0120>
- Markley, M.J., and Davis, L.,** (2007). Exploring Future Competitive Advantage Through Sustainable Supply Chains. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 37 (9), 763-774.
- Mi, X., Tang, M., Liao, H., Shen, W., Lev, B.** (2019). The state-of-the-art survey on integrations and applications of the best worst method in decision making: Why, what, what for and what's next? *Omega*, 87, 205–225. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.01.009>
- Munim, Z. H., Saha, R., Schøyen, H., Ng, A. K. Y., Notteboom, T. E.** (2022). Autonomous ships for container shipping in the Arctic routes. *Journal of Marine Science and Technology*, 27(1), 320–334. <https://doi.org/10.1007/s00773-021-00836-8>
- Nguyen, T. C. and Le, Trung H,** (2022). “Financial Crises and the National Logistics Performance: Evidence From Emerging and Developing Countries”. Forthcoming, *International Journal of Finance & Economics* <https://doi.org/10.1002/ijfe.2768>, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4315596>
- Özdemirci, F., Yüksel, S., Dinçer, H., Eti, S.** (2023). An assessment of alternative social banking systems using T-Spherical fuzzy TOP-DEMATEL approach. *Decision Analytics Journal*, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100184>
- Parhi, S., Joshi, K., Gunasekaran, A., Sethuraman, K.** (2022). Reflecting on an empirical study of the digitalization initiatives for sustainability on logistics: The concept of sustainable logistics 4.0. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 4, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100058>
- Qaiser, F. H., Ahmed, K., Sykora, M., Choudhary, A., & Simpson, M.** (2017). Decision support systems for sustainable logistics: A review and bibliometric analysis. *Industrial Management & Data Systems*, 117(7),1376–1388. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2016-0410>
- Qureshi, M. N., Kumar, D., & Kumar, P.** (2008). An integrated model to identify and classify the key criteria and their role in the assessment of 3PL services providers. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 20(2), 227–249. <https://doi.org/10.1108/13555850810864579>
- Qureshi, M. N., Kumar, P., & Kumar, D.** (2009). Framework for benchmarking logistics performance using fuzzy AHP. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 1(1), 82– 98. <https://doi.org/10.1504/IJBPSM.2009.026267>
- Rezaei, J.** (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Rezaei, J.** (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>

**Rezaei, J., van Roekel, W. S., Tavasszy, L.** (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.007>

**Rezaei, J., van Roekel, W. S., Tavasszy, L.** (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.007>

**Roy, S. N., & Sengupta, T.** (2018). Quintessence of third party (3PL) logistics. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 11(2), 146–173. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-05-2017-0012>

**Sarkis, J.** (2021). "Supply chain sustainability: learning from the COVID-19 pandemic", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 41 No. 1, pp. 63-73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>

**Si, S.-L., You, X.-Y., Liu, H.-C., Zhang, P.** (2018). DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–33. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>

**Tezuka, K.** (2011). Rationale for utilizing 3PL in supply chain management: A shippers' economic perspective. *IATSS Research*, 35, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2011.07.001>

**Tzeng, G., Chiang, C., Li, C.** (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32(4), 1028–1044. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.02.004>

**Ulu, M., Tırkan, Y. S. & Mengüç, K.** (2022). Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının BWM ve SWARA yöntemleri ile belirlenmesi . *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 5 (2) , 227-238 . DOI: 10.51513/jitsa.1084833

**Ulu, M., Tırkan, Y. S., Mengüç, K.** (2022). BWM ve SWARA yöntemleri ile trafik kazaları kriter ağırlıklarının belirlenmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1084833>

**Uygun, Ö., Kaçamak, H., Kahraman, Ü. A.** (2015). An integrated DEMATEL and Fuzzy ANP techniques for evaluation and selection of outsourcing provider for a telecommunication company. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.014>

**Vishwakarma, A., Dangayach, G. S., Meena, M. L., Gupta, S.** (2022). Analyzing barriers of sustainable supply chain in apparel & textile sector: A hybrid ISM-MICMAC and DEMATEL approach. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100073>

**Wağtrowski, J.** (2016). Outline of multi-criteria decision-making in green logistics. *Transportation Research Procedia*, 16, 537–552.

**World Bank.** (2022). *International LPI – Global rankings 2022*. Accessed: 2 November 2022, <https://lpi.worldbank.org/international/global/2022>.

**Wouters, M.** (2009). *A developmental approach to performance measures*-Results from a longitudinal case study. *European Management Journal* (27), s. 64-78.

**Wu, W.-W.** (2008). Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 828–835. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.025>

**Yean, T.S., Das, S.B.,** (2016). Logistics Integration in ASEAN Faces Serious Challenges ISEAS Perspective, ISEAS - Yusof Ishak Institute, Singapore. ISSUE: 2016 No. 55 ISSN, 2335-6677.

## Research Article

### Geometric path planning for parallel parking on double side parked narrow streets

Emrehan Hatipoğlu<sup>1,\*</sup>, Mert Kadir Assoy<sup>1</sup>, Mesut Kaya<sup>1</sup>, Mert Ezim<sup>2</sup>, Mete Oğuz<sup>2</sup>, Emir Kutluay<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TDK Teknoloji (Taşıt Dinamiği Kontrol Teknolojileri A.Ş.), R&D, Bursa, Turkey

<sup>2</sup>TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., R&D, Bursa, Turkey

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Hacettepe University, 06800, Beytepe, Ankara, Turkey

\*Correspondence: [ehatipoglu@tdkteknoloji.com.tr](mailto:ehatipoglu@tdkteknoloji.com.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1311698

**Abstract:** The aim of the paper is to propose collision-free path planning algorithm for autonomous parallel parking based on Ackermann steering geometry. A geometrical path planning algorithm has been employed for generating a path that is based on two straight lines and two identical circles. The algorithm is taking into account that the left side of the street is taken as another parking slot occupied by full of cars. The ego's kinematics model appropriate for the low-velocity parking scenario and the maximum allowable steering angle for the narrow streets is used in the path planning stage by considering mechanical and environmental limits. According to the steering angle, required length of the parking space is obtained. The algorithm can adapt itself according to the lateral position of the ego in case it is parallel to other parked cars. The steering angle to be used and the required parking space length according to the lateral position of the vehicle in the environmental model are given with graphics.

**Keywords:** Autonomous parallel parking, path planning, Ackermann steering geometry, driver assistance systems

### Çift taraflı park edilmiş dar sokaklarda paralel park için geometrik yol planlaması

**Özet:** Bu yayında, Ackermann yönlendirme geometrisini temel alan, otonom paralel park için çarpışmayı önleyici yol planlayıcı algoritma önerilmektedir. İki düz çizgi ve iki özdeş daireye dayalı bir yol oluşturmak için geometrik yol planlama algoritması kullanılmaktadır. Algoritma, yolun sol tarafının park etmiş araçlarla dolu olduğunu hesaba katmaktadır. Ego araca ait, düşük hızlı park senaryosuna ve izin verilen en geniş direksiyon açısına uygun kinematik model, mekanik ve çevresel sınırlar dikkate alınarak yol planlama aşamasında kullanılmaktadır. Gerekli park yeri uzunluğu, direksiyon açısına göre elde edilmektedir. Algoritma, diğer park etmiş arabalara paralel olması durumunda ego aracın yanıl konumuna göre kendini uyarlayabilir. Ego aracın çevre modelindeki yanıl konumuna göre kullanılacak direksiyon açısı ve gerekli park yeri uzunluğu grafikler ile ifade edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom paralel park, yol planlama, Ackermann yönlendirme geometrisi, sürücü asistan sistemleri

## 1. Introduction

According to the study by INRIX, a provider of transportation analytics, the average driver in the United States spends 17 hours per year searching for parking, costing them over \$345 in wasted time, fuel, and emissions. Another study by the National Association of City Transportation Officials (NACTO) shows that nearly 30% of traffic in city centers is caused by drivers searching for parking, with an average search time of 7 minutes per driver. The study also found that the lack of parking availability and high demand often results in illegal parking, which can lead to traffic congestion and safety hazards.

A parallel parking system that uses fuzzy logic is described by (Tavakoli et al, 2011). Problems that caused by the increase in human society and lack of parking spaces are accentuated. Due to low speed, lateral slip is neglected. Vehicle motion is explained by using kinematic model. Two arcs are obtained to perform required lateral displacement. At the end of the maneuver, the vehicle allocates itself in the middle of parking space. There is no consideration about the left side usage of the road. In brief, left side is completely empty.

The most common approach for parallel parking is well known as the geometrical path planning approach. Rubio et al. (2018) has proposed path tracking for parallel parking by promoting Fuzzy PD+I logic control on a 1:10 scaled non-holonomic mobile robot. Real-time Robot Operating System (ROS) controlled mobile robot is equipped, with a camera and laser-type sensor detecting free park spaces and obstacles. Also, in order to neglect the dynamic disturbance such as slippage, they considered their mobile robot's kinematic modelling in low mass and low-speed range. Error multiplied by PD+I constants is the input of Fuzzy logic for producing the steering angle output. The path consists of two identical arcs and a straight line. The method of creating the arcs is described by (Sungwoo et al, 2011). The last maneuver that is based on straight line path brings the vehicle in the middle of the parking space. The steering angle is selected as 30 degrees by considering the physical limitations of the scaled prototype vehicle.

A method that enhancing Bezier curve by neural network to perform parallel parking is mentioned by (Yu et al, 2021). Flowchart of the maneuver is given. The vehicle is represented with a rectangle that encapsulates the extremities points. As stated in this study, the vehicle body is composed of arc surfaces from top view. However, in order to simplify the modelling, these surfaces are neglected. The drawback is that the driving area seems wider than the real driving area. Ackermann steering model is used in this study. Before the backward maneuvers, the ego vehicle is moving in parallel to stationary vehicles. The parking path is constituted with two arcs and a straight line that connects the ending point of the first arc and starting point of the second arc. Simulations are performed on Matlab. An intelligent Arduino minicar is used for real-world experiments. Flowchart of the autonomous parallel parking process is described.

Instead of the trajectory geometrical path planning regarding parallel parking, study proposed by Jiyuan et al. (2019) approaches desired guidance control actions by taking collide probability into account. In this control technique, three collision actions have been considered according to human experiences in order to create a collision-free path and derive a dynamic differential equation with constraints for position control theory. With this theory, many different parking maneuvers are dynamically characterized if the available parking slot is sufficiently large. Parking maneuvers are performed with a constant speed.

Parallel parking in a single maneuver and several reversed trials are the described by (Metin and Sezer, 2021). The study is based on minimizing the lateral distance constraint in the geometric approach for parallel parking is proposed. According to Ackermann's formulas, kinematic model of the parking one maneuver method (POM) and Parking in several reversed trials method (PSRT) is derived in order to find a free-collision path. Parking maneuver is considered at low speed so kinematic equations supply motion modelling accurately. On the POM, by giving the vehicle its maximum steering angle, the smallest turning radius can be achieved. Designing a path to exit a parked car from its location, then employing the opposite of that path to execute the parking operation is the main Park in Rescuing Parallel Trials (PRT) strategy. Thus, this system has become usable in both narrow and wide parking areas for passenger cars or buses.

Autonomous parallel parking of front wheel steering vehicles is mentioned by Zhang et al (2020) by accenting trajectory planning method and trajectory tracking method. Vehicle is modelled kinematically.

Trajectory planning is discussed as path planning and longitudinal velocity planning. Firstly, a collision free path is obtained with circular arcs and a straight line by considering the kinematic constraint of the vehicle. After that, a continuous curvature path is generated from the previous path by using  $\beta$ -spline curve. Longitudinal velocity is obtained according to the constraints of the driving and brake systems. Proposed method is designed for one or multiple parking maneuvers.

An automatic parking system is proposed by (Zhang et al, 2022). The parking path is planned according to kinematic model of the vehicle and Model Predictive Controller (MPC) is used for path tracking. Schematic diagram of autonomous parallel parking is given. Parking maneuver constraints are described from the geometrical point of view. A quintic polynomial is used for path smoothing. Simulations are performed on Matlab and CarSim. To verify the performance of controllers, a ROS smart car is tested in laboratory environment.

An automatic parallel parking study is mentioned by (Wang et al, 2017). The ego vehicle can start the maneuver from an arbitrary angle. Two tangential circular arcs that have different radii are used for obtaining the path. Vehicle is modelled kinematically, and Ackermann steering is used due to low speed of the maneuver. Size of the parking space is analyzed in order to consider the collision avoidance conditions. The maneuver is performed on a barrier-free environment. The proposed algorithm is tried for various initial positions and orientations.

Effect of sensor errors on the parallel parking performance of a parking assist system is described by (Garg et al, 2016). In addition, path planning of parallel parking is investigated. Proposed path planning algorithm aims to park the vehicle in one trial to an empty parking space. The path consists of two circular arcs that have same radius in addition to have the same angle at their respective centers. Various control schemes are implemented to lateral controller to track the trajectory. Simulations are performed on IPG CarMaker and Simulink. Sensor errors are modelled detailed in this study.

An autonomous parallel parking study is proposed by (Hatipoglu and Kutluay, 2021). Ackermann steering geometry is used due to low speed of the maneuver. Proposed algorithm can park the vehicle within the lateral limits by creating two identical arcs with minimum radius. The main idea is retrieving the vehicle from the parking spot and then using the same path inversely to park the vehicle. Parameters that effect the steps of the parking maneuver are shown with derived equations. There is no constraint about the left side usage of the road in this study.

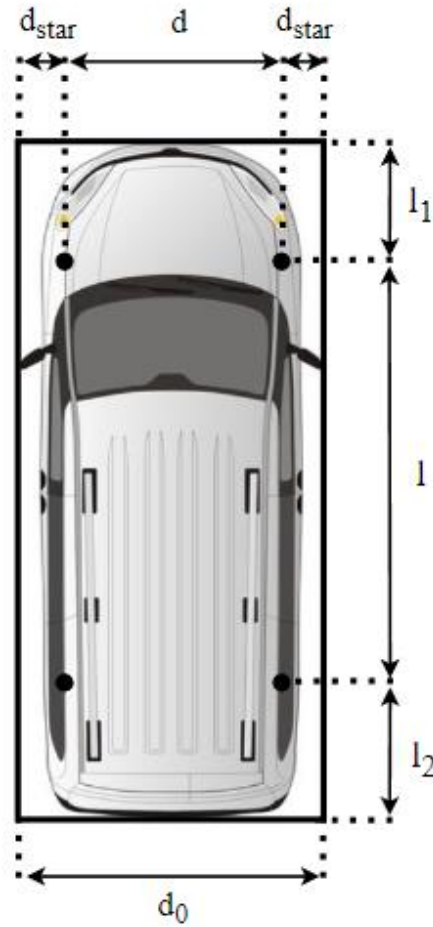
In this study, a path planning algorithm for autonomous parallel parking is described. The algorithm handles the maneuver in four steps, two longitudinal and two lateral. Two identical arcs are constituted to place the ego vehicle into the parking space. Proposed algorithm calculates the turning radius according to environment model by taken into consideration of the left side usage of the road in addition to vehicle kinematics which makes the algorithm more convenient for autonomous parallel parking applications in narrow streets. Also, length of the parking space is not constant and calculated for different scenarios. Steering angles and required length of the parking space are obtained for different scenarios.

## **2. Kinematics and path planning**

Motion of the ego vehicle is modelled by using Ackermann steering geometry in this study. Vehicle which has only front wheels for steering are considered. Path planning is based on the perceived environment and geometrical equations. The path is divided in four steps. The first step brings the vehicle to required longitudinal position. Then, right forward and left forward maneuvers are executed to place the ego vehicle into the parking step. As a last step, the ego vehicle performs a straight forward maneuver to place itself in the middle of the parking space longitudinally.

### **2.1. Vehicle model**

Vehicle is assumed to be a light commercial vehicle and the vehicle model is given as Fig.1.



**Figure 1.** Vehicle model

The distance between the body of the vehicle wheels and the boundary of the vehicle body can be neglected since it is very small. However, the rear-view mirrors of the vehicle take up much more space than the distance between the wheel body and the vehicle body boundary. Therefore, it would not be right to neglect them.

To encapsulate the extremities of the vehicle, rectangular model is used. This approach is also described in (Rubio et al, 2018). However, for the development to be done in a safer range, the vehicle is represented by four moving points representing the ends of the vehicle and each wheel is represented by a point. In order to make the representation more understandable these endpoints are combined, and the vehicle is represented as a rectangle. Variables and parameters are given in Table 1.

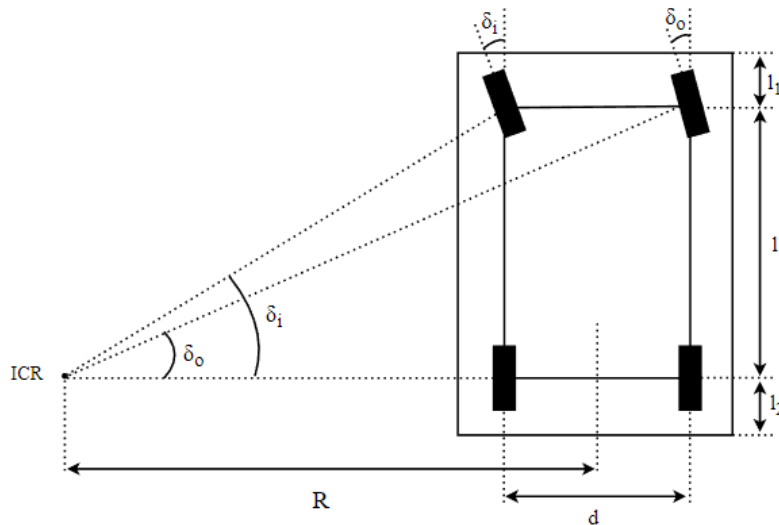
**Table 1.** Variables and Parameters

<b>Variables &amp; Parameters</b>	<b>Notation</b>	<b>Value</b>
<b>Trackwidth</b>	d	1530 mm
<b>Width of the vehicle (side mirrors included)</b>	$d_0$	2180 mm
<b>Distance between side mirror and center of the wheel</b>	$d_{star}$	325 mm
<b>Wheelbase</b>	L	3105 mm
<b>Front Overhang</b>	$l_1$	911 mm
<b>Rear Overhang</b>	$l_2, k_3$	740 mm
<b>Instantaneous Center of Rotation</b>	ICR	Variable
<b>Turning Radius</b>	R	Variable
<b>Minimum Longitudinal Distance to Exit the Parking Space without Collision</b>	$k_1$	Variable
<b>Sum of Front Overhang and Wheelbase</b>	$k_2$	4116 mm
<b>Rear Factor of Safety</b>	$k_4$	200 mm
<b>Frontal Factor of Safety</b>	$k_5$	500 mm
<b>Steering Angle</b>	$\delta_i$ (inner), $\delta_o$ (outer)	[-35 35] in degrees
<b>Lateral Distance between the Right Side of the Ego Vehicle and Left Side of Stationary Cars that are Parked on the Right Side of the Road</b>	$X_c$	[0.2-1 m] in meters
<b>Lateral Distance between the Left Side of the Ego Vehicle and Right Side of Stationary Cars that are Parked on the Left Side on the Road</b>	Lateral distance	[1.62-0.82 m] in meters
<b>Lateral fos</b>	$lateral_{fos}$	0.1 meters
<b>X Coordinate of the Right Side of Stationary Cars that are Parked on the Left Side of the Road</b>	$X_{st \text{ car right}}$	-4
<b>Center Coordinates of the First Circle</b>	$(x_A, y_A)$	Variable
<b>Center Coordinates of the Second Circle</b>	$(x_C, y_C)$	Variable

**2.2. Ackermann steering**

Ackermann steering is a steering mechanism used in vehicles, especially in automobiles, that allows the front wheels to rotate at different angles while the vehicle is turning. Ackermann steering geometry is widely used in modern cars and provides more precise and stable handling in turns. This is achieved by making the inner wheel turn sharper than the outer wheel during a turn, so that the front wheels make two distinct circles with a common center point as can be seen in Figure 2.

The parking maneuver can be considered as a low-speed maneuver. For this reason, the parking maneuver is suitable for modelling with Ackermann.



**Figure 2.** Ackermann steering

The inner front wheel steering angle is  $\delta_i$  and the outer front wheel steering angle is  $\delta_o$ . The maximum steering angle ( $\delta_i$ ) of the inner front wheel is assumed to be 35 degrees due to mechanical considerations of the ego vehicle, while the steering angle ( $\delta_o$ ) of the outer front wheel is calculated using geometrical relations. Related formula is given as Equation 1.

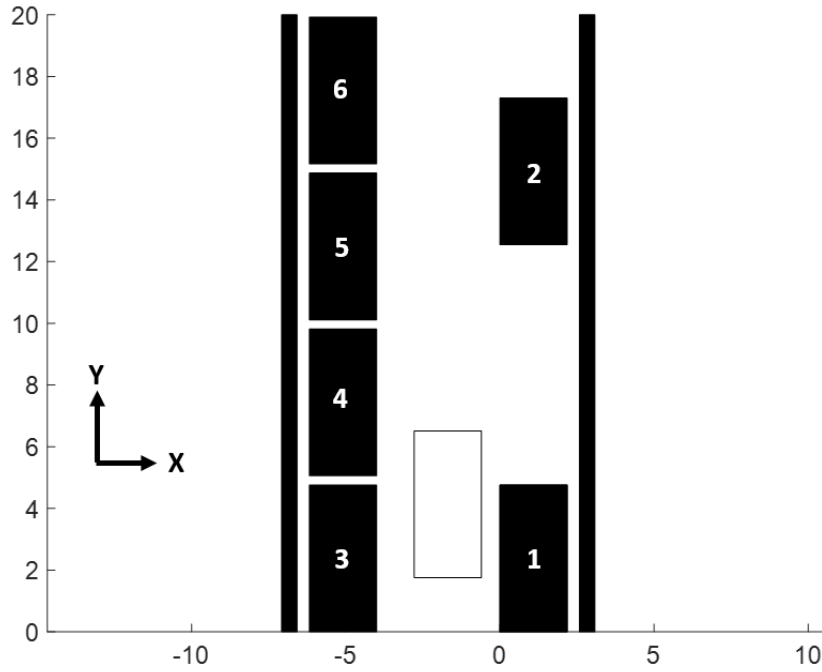
$$R = \frac{l}{\tan(\delta_i)} + \frac{d}{2} = \frac{l}{\tan(\delta_o)} - \frac{d}{2} \tag{1}$$

Steering angle, instantaneous center of rotation (ICR), track width and wheelbase values can be used for trajectory calculations of all wheels. The instantaneous center of rotation is fixed as long as the steering angle and the velocity are constant. After these calculations, the instantaneous center of rotation can be taken as a reference for the position of each wheel.

**2.3. Path planning**

A two-dimensional environment model which consists of six stationary cars, a parking space and an ego vehicle is constituted to simulate a frequently encountered scenario in Matlab and is given in Figure 3. Real-world scenario is also given in Figure 4. Stationary cars are parallel to pavement perfectly and are aligned among themselves. The ego vehicle starts the straight forward maneuver in parallel to the stationary cars.



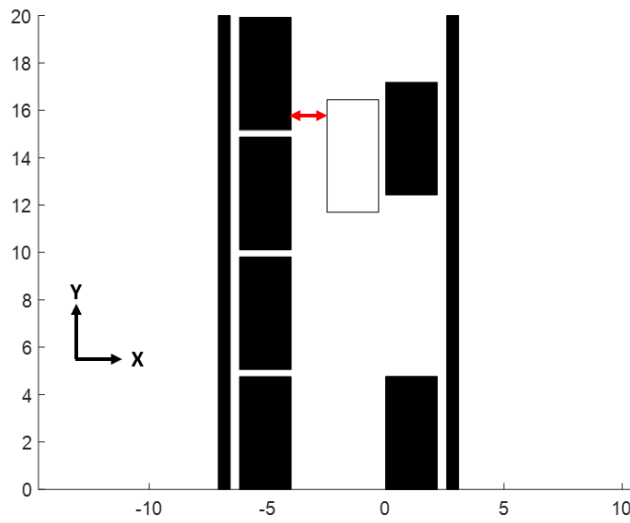


**Figure 3.** 2-D environment model



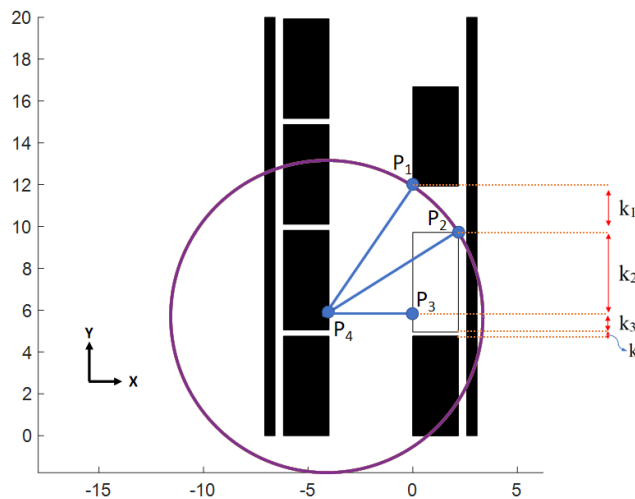
**Figure 4.** Real-world scenario

In order to park to the shortest parking space, maximum value of the steering angle should be used as proposed in (Hatipoglu and Kutluay, 2021). However, left side usage of the road increases as the steering angle increases. In our study, steering angle of the ego vehicle is calculated by considering the left side of the road. It is assumed that the lateral distance between the left border of the ego vehicle and right border of the stationary car is known. Then, this distance is taken as a limit with a factor of safety and is used for calculating the steering angle. The distance is shown in Figure 5. After that, turning radius of the vehicle and required length of the parking space are obtained.

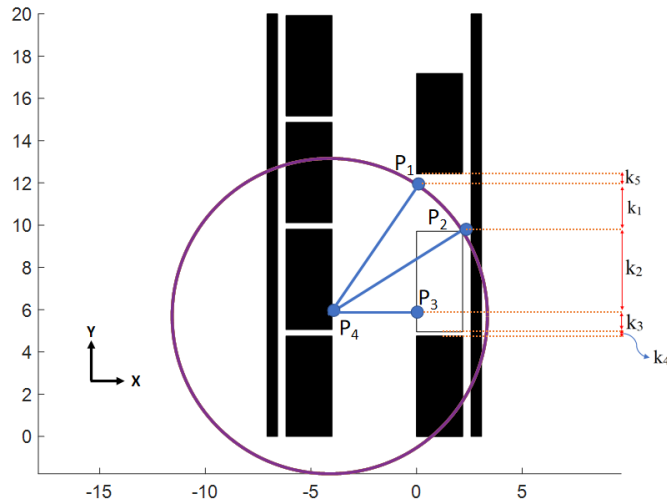


**Figure 5.** Lateral distance

Length of the parking space is not constant and is changing according to the lateral position of the ego vehicle in the environment model. The schematics of the parking space are given as Figure 6. On the left side, geometrical representation of the parking space that is constituted by Sungwoo et al. (2011) is shown.  $P_1$  and  $P_2$  are locations of the right front edge of the ego vehicle at different instants.  $P_3$  represents the projectile of the rear axle center to the left side of the ego vehicle at the end of backward maneuvers. Then,  $P_4$  shows the center coordinates of the maneuver center which is  $(x_A, y_A)$ . As described in Rubio et al. (2018), vehicle is modelled as a rectangle by ignoring the smooth curved borders of the body. This approach makes the modelling easier. However, the driving corridor is wider than the real vehicle. By considering Sungwoo et al. (2011) and Rubio et al. (2018), it can be said that the ego vehicle does not collide to stationary car during the backward maneuver. Even so, an additional factor of safety distance is added to the length of the parking space in order to obtain safer parking maneuvers. Parking space with frontal factor of safety distance and related maneuver is given in Figure 7. Also, formula that is used for calculating the length of the parking space is given as Equation 2.



**Figure 6.** Parking space without frontal safety distance

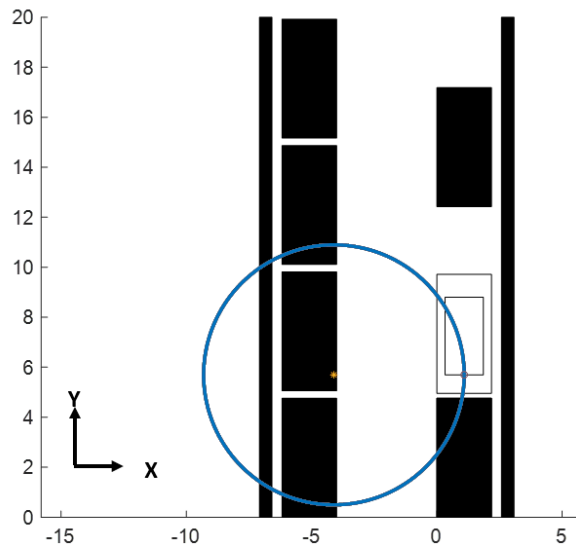


**Figure 7.** Parking space with frontal safety distance

$$\text{Length of the parking space} = \sqrt{|P_1P_4|^2 - |P_4P_3|^2} + k_4 + k_5 \tag{2}$$

After these steps, maneuver circles can be constituted. Firstly, the circle that is used for left backward maneuver must be obtained. The circle is given in Figure 8. The center coordinates of this circle can be obtained by using the location of the rear axle center of the ego vehicle at the end of backward maneuvers and turning radius. It is assumed that position of the rear axle center is known during the maneuver.

Turning radius is obtained according to the lateral position of the ego vehicle in the environment model. So, a representative turning radius(R) is added to Equation 3-4. Calculation of the turning radius will be explained detailed in the fourth section. The center coordinates and the radius of the circle are given as Equation 3-4.

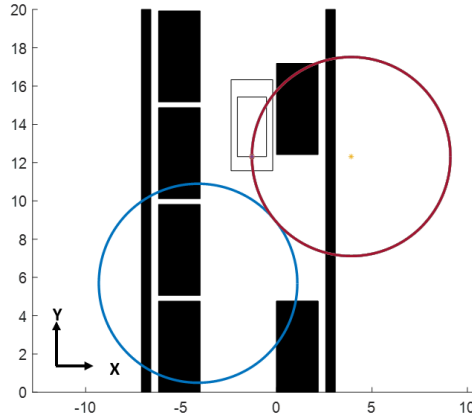


**Figure 8.** Left backward maneuver circle

$$Center_{x_A} = X_{RAC} - R \tag{3}$$

$$Center_{y_A} = Y_{RAC} \tag{4}$$

Then, circle that is using for right backward maneuver can be obtained. Center coordinates of this circle is a function of the lateral position and dimensions of the vehicle, position of the first circle center and calculated turning radius. The circle is given in Figure 9. Required change in orientation angle can be calculated by using the center coordinates of the circles. Related formula is given as Equation 7.



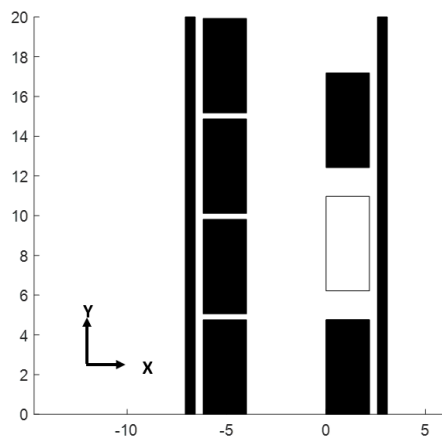
**Figure 9.** Right backward maneuver circle

$$Center_{x_C} = X_{RAC} + R \tag{5}$$

$$Center_{y_C} = Y_{RAC} \tag{6}$$

$$Change\ in\ orientation\ angle\ (in\ radian) = \frac{(y_C - y_A)}{(x_C - x_A)} \tag{7}$$

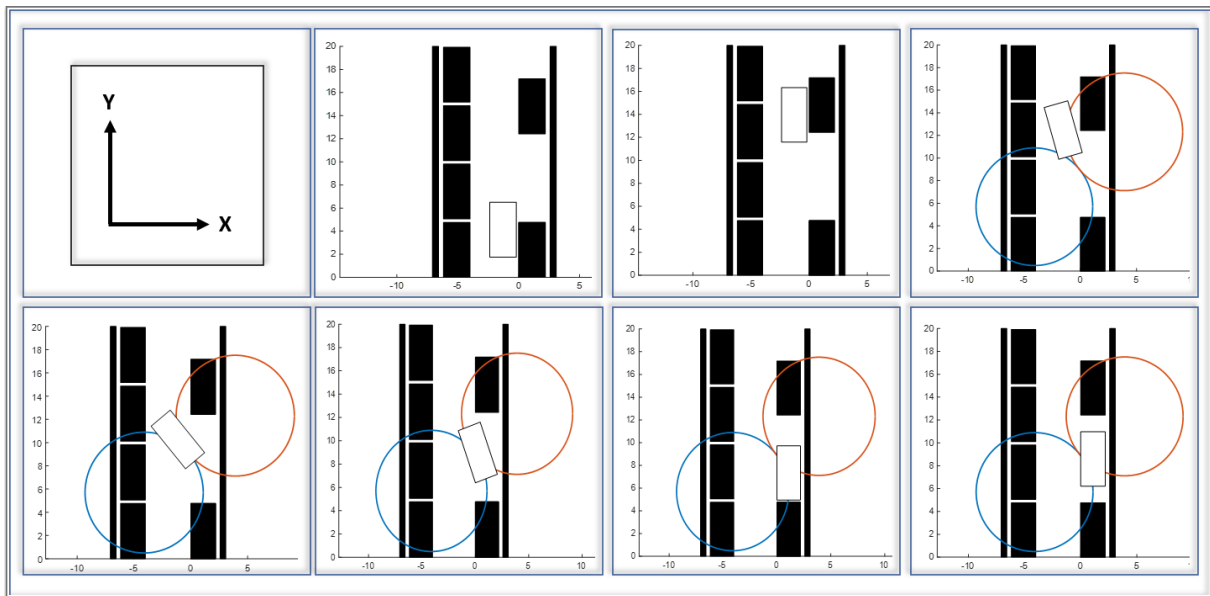
Lastly, the vehicle performs a straight forward maneuver to place itself in the middle of the parking space longitudinally. End of the last maneuver is given in Figure 10. This approach is also mentioned by (Rubio et al, 2018).



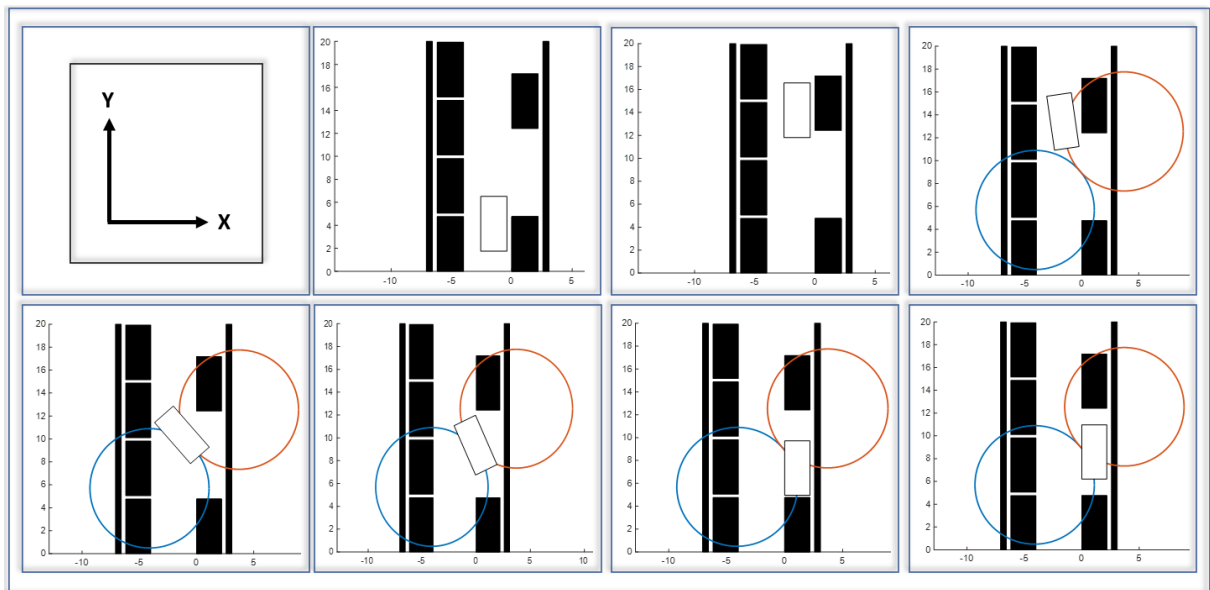
**Figure 10.** End of the maneuver

### 3. Scenario and simulation

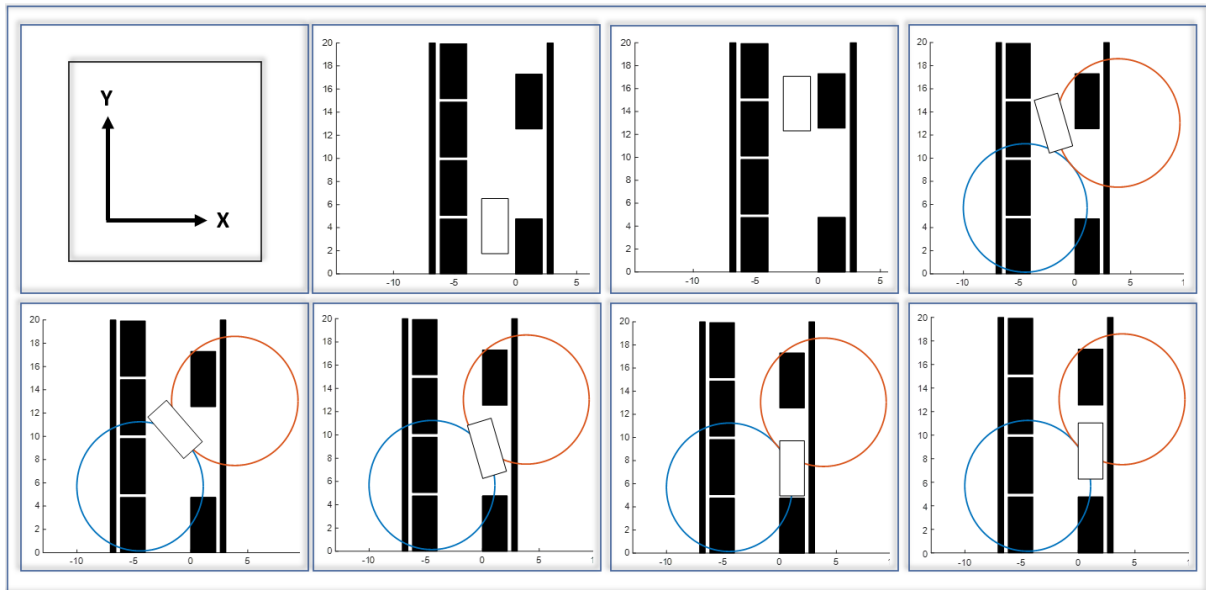
The proposed scenario is based on a daily parking maneuver in narrow streets. Real-world case is given in Figure 4. Initially, the ego vehicle is in parallel to the stationary cars as given in Figure 3. It starts to go straight until the starting location of backward maneuvers. After that, right backward maneuver is performed. Since the required change in orientation angle has been calculated before the execution of the parking maneuver, the ego vehicle is assumed to be stopped when the change in orientation angle reaches the pre-calculated value. Then, left backward maneuver is performed until the ego vehicle is parallel to the pavement. After that, the vehicle performs a straight forward maneuver to place itself in the middle of the parking space. Under existing assumptions, the described algorithm can park the ego vehicle within lateral limits that are caused by the vehicle kinematics and dimensions of the environment model. Scenarios are given in Figure 11-15.



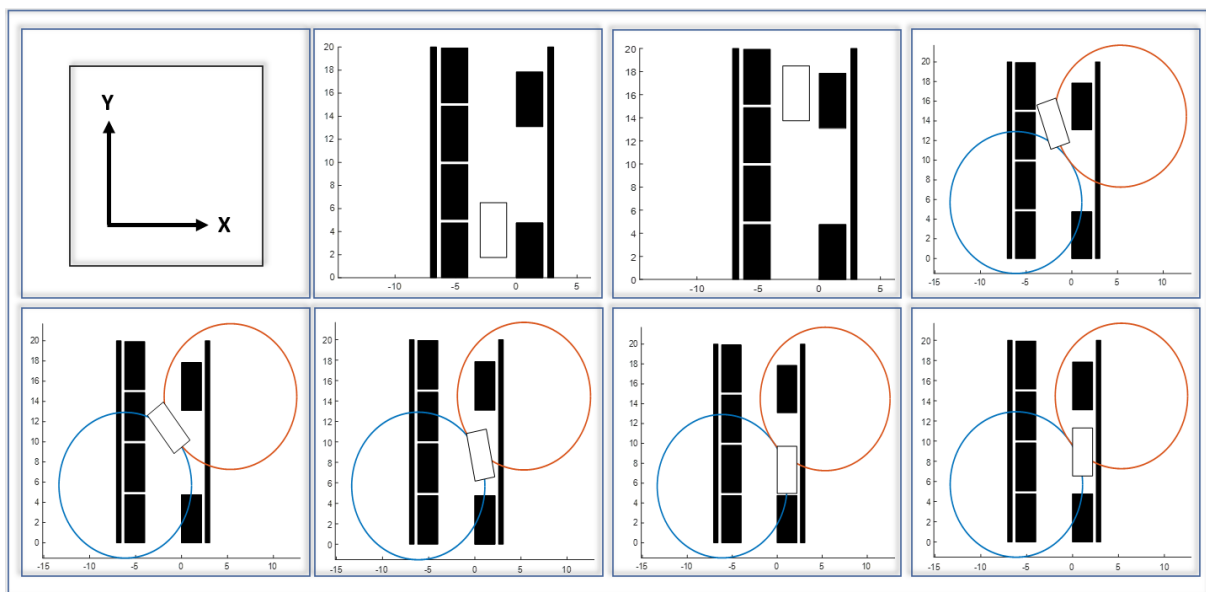
**Figure 11.** Scenario – 1 at which lateral distance is equal to 1.62 meters and  $X_c$  is equal to 0.2 meters



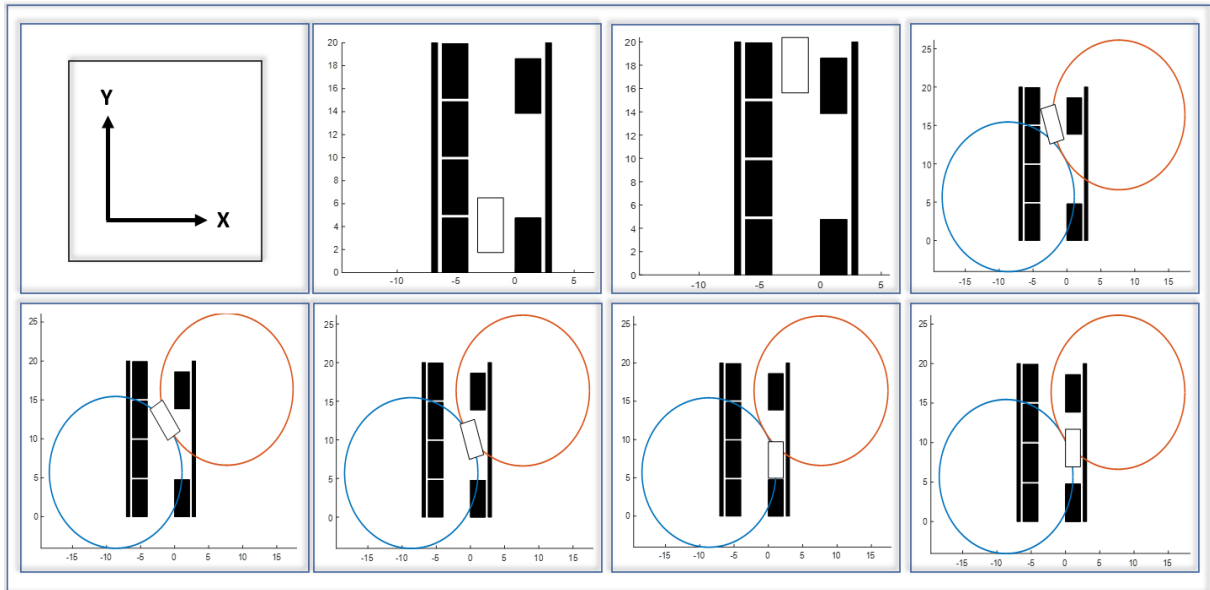
**Figure 12.** Scenario – 2 at which lateral distance is equal to 1.42 meters and  $X_c$  is equal to 0.4 meters



**Figure 13.** Scenario – 3 at which lateral distance is equal to 1.22 meters and  $X_c$  is equal to 0.6 meters



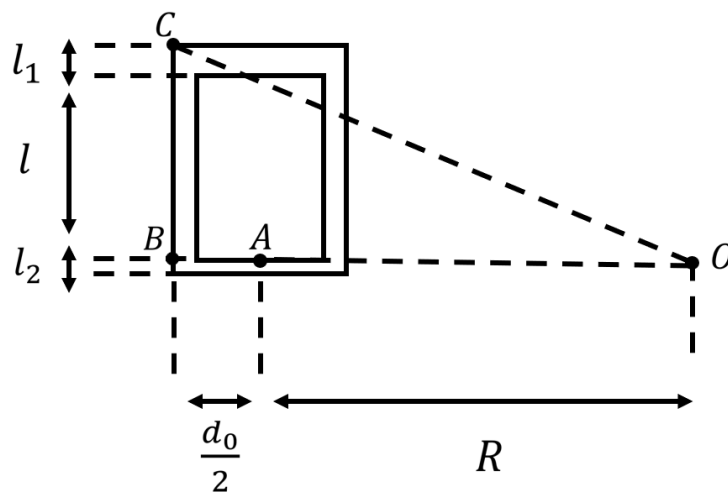
**Figure 14.** Scenario – 4 at which lateral distance is equal to 1.02 meters and  $X_c$  is equal to 0.8 meters



**Figure 15.** Scenario – 5 at which lateral distance is equal to 0.82 meters and  $X_c$  is equal to 1 meters

**4. Steering angle calculation formula**

The steering angle can be selected as large as possible to park the vehicle in the shortest parking space. However, large steering angles require more use of the left side of the road. When the road is narrow, using of the left side of the road must be checked to evaluate the feasibility of the parking maneuver. Proposed formula calculates a turning radius according to the distance on the left. Then, required length of the parking space is obtained. Figure 16 shows the representative starting instant of the backward maneuvers. Maximum lateral displacement of the left front edge of the vehicle is calculated with this geometry. Related points are given in Table 2.

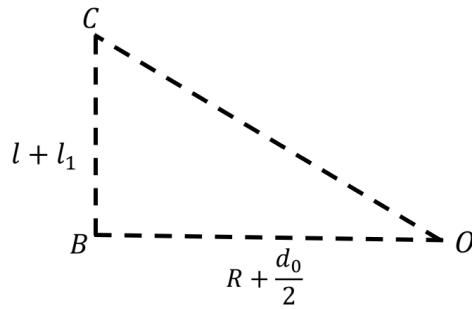


**Figure 16.** Starting instant of backward maneuvers

**Table 2.** Related points for steering angle calculation

Point	Explanation
<i>O</i>	Instantaneous center of rotation
<i>A</i>	Rear axle center
<i>B</i>	Projectile of $\overrightarrow{OA}$ on the left side of the vehicle
<i>C</i>	Left front edge of the ego vehicle

As a first step, length of the  $|OC|$  must be calculated. Since it is the hypotenuse of the  $\triangle OBC$  as can be seen in Figure 17., Pythagoras Theorem can be used and given as Equation 8.

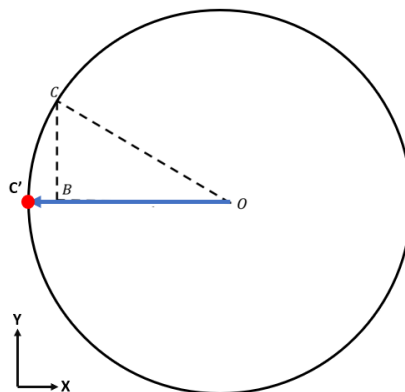


**Figure 17.**  $\triangle OBC$

$$|OC| = \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + (l + l_1)^2} \tag{8}$$

After this step, a circle that is used for obtaining the lowest x coordinate of point *C* can be created. Center of this circle is point *O* and radius of the circle is equal to  $|OC|$ . *C'* shows the position of point

*C* when the x coordinate is minimum. The circle is given in Figure 18. At that instant, x coordinate of point *C'* can be stated with Equation 9.



**Figure 18.** Circle that is used for calculating lowest x coordinate of *C*



$$\min(X_{C'}) = X_A + R - |OC| = X_A + R - \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + (l + l_1)^2} \quad (9)$$

So, the lateral displacement of point C can be stated with Equation 10.

$$\text{lateral displacement of point C} = R + \frac{d_0}{2} - \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + (l + l_1)^2} \quad (10)$$

The main idea is obtaining the turning radius by considering the lateral distance which is given in Figure 5, with a factor of safety distance and equalize the lateral displacement of point C to this distance. Then, the minimum turning radius that the vehicle can perform a non-collision maneuver can be obtained. Related formula is given as Equation 11. This formula is handled as a function and solved by Matlab fsolve command.

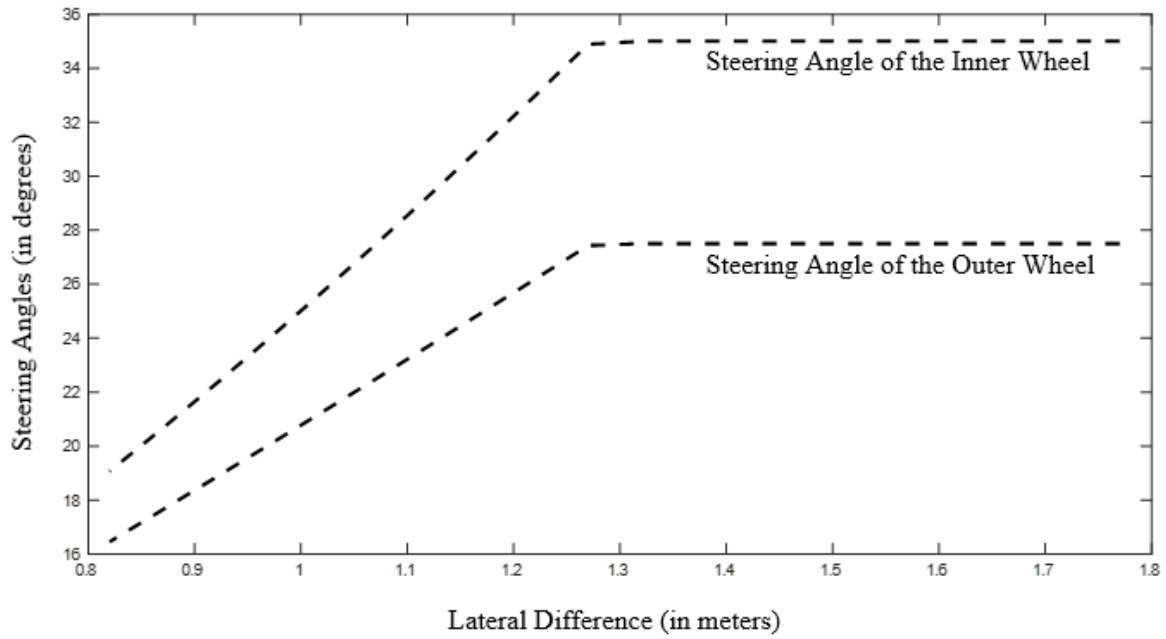
$$\text{Turning radius} = X_B + R - \sqrt{\left(R + \frac{d_0}{2}\right)^2 + (l + l_1)^2} - X_{st\ car\ right} - \text{lateral}_{fos} \quad (11)$$

In addition to this formula, a comparison section is needed to set the steering angle. For the given vehicle, maximum lateral displacement of point C is calculated as 1.17 meters. This distance is handled with lateral factor of safety distance and compared to lateral distance that is given in Figure 5.

If the difference between initial lateral distance and lateral factor of safety is bigger than the 1.17, then the steering angle is set to maximum which is equal to 35 degrees. If it is less than 1.17, then steering angle is obtained from the turning radius that is calculated by using Equation 11 by applied Ackermann steering relations.

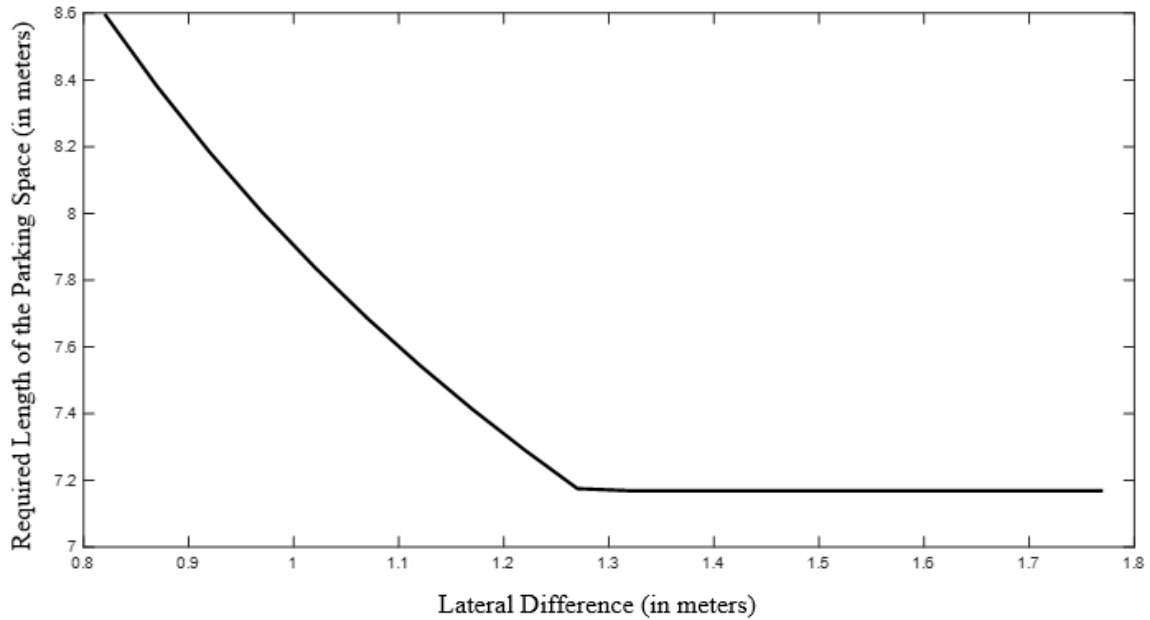
## 5. Results

The relation between lateral difference and steering angles are given in Figure 19. When the lateral difference is bigger than 1.27 which is equal to the sum of maximum lateral displacement of point C and lateral factor of safety, the steering angle is set to maximum. When this difference is less than 1.27, steering angles are calculated by using Equation 11. As can be seen in Figure 19, the vehicle uses smaller steering angles to prevent left-side crashes during the parking maneuver.



**Figure 19.** Lateral difference versus inner and outer steering angles

Also, the relation between required length of the parking space and lateral distance is given in Figure 20. When the ego vehicle approaches to the left side of the road, steering angles become smaller. Thus, the turning radius of the vehicle increases and the vehicle needs to be placed in longer parking spaces.



**Figure 20.** Lateral difference versus required length of the parking space

Finally, the maneuvers that are shown in Figure 11 – 15 are summarized in Table 3. As it can be seen on the Table 3, left side usage of the road increases as the steering angles increase. Therefore, especially in narrow streets, usage of the maximum steering angle is not feasible in order to perform collision-free parking maneuver by considering the left side of the road. In addition, the vehicle needs longer parking spaces due to non-maximum steering angles.

**Table 3.** Summary of Scenarios

Scenario	Left side usage of the road (In meters)	Lateral distance (In meters)	$X_c$ (In meters)	$\delta_{inner}$ (In degrees)	$\delta_{outer}$ (In degrees)	Parking Space Length (In meters)
1	1.17	1.62	0.2	35.00	27.50	7.17
2	1.17	1.42	0.4	35.00	27.50	7.17
3	1.12	1.22	0.6	32.98	26.18	7.29
4	0.92	1.02	0.8	25.70	21.26	7.83
5	0.72	0.82	1	19.06	16.45	8.59

## 6. Conclusion

An autonomous parallel parking algorithm that is based on Ackermann steering geometry is described. The algorithm is independent of the lateral position of the ego vehicle within the limits and dependent of parallelism between the ego vehicle and stationary cars. Calculation of steering angle according to environment model in addition to vehicle constraints is a contribution of this study. The algorithm calculates the minimum turning radius that the vehicle can perform a non-collision parking maneuver with it. Also, required length of the parking space can be calculated and feasibility of the parking maneuver can be evaluated by considering the left side usage of the road. When the ego vehicle approaches to left side of the road, steering angle becomes smaller and required length of the parking space increases. Within the context of the proposed scenarios, it is shown that required length of the parking space can be increased up to 19.8%, however left side lateral displacement of the vehicle can be reduced up to 38.5%. Additionally, the ego vehicle sets the corresponding steering angle when the velocity equals to zero which means that the vehicle takes maximum lateral displacement with minimum longitudinal displacement. So, the smallest driving corridors are seen at proposed scenarios and these corridors can be taken as a limit for control studies. As a future work, multiple maneuver parallel parking will be investigated.

## Researchers' Contribution Rate Statement

Emrehan Hatipoğlu has contribute to code the autonomous geometrical parking algorithm. Mert Kadir Assoy spent effort on determining the conceptual and design processes of the study and management. Mesut Kaya has contributed to creation of the vehicle model and defining the required parameters. Mert Ezim and Mete Oguz have spent effort on literature search. Emir Kutluay supervised Emrehan Hatipoğlu and evaluated the feasibility of the algorithm.

## Acknowledgment and/or disclaimers, if any

There are no acknowledgment and/or disclaimers.

**Conflict of Interest Statement, if any**

There is no conflict of interests.

**References**

- Ballinas, E., Montiel, O., Castillo, O., Rubio, Y., & Aguilar, L. T.** (2018). Automatic Parallel Parking Algorithm for a Carlike Robot using Fuzzy PD+ I Control. *Engineering Letters*, 26(4).
- Garg, R., Zanardo, G. S., Schmied, R., & del Re, L.** (2016, July). Simulating the effect of ultrasonic ranging errors on parallel parking performance. In 2016 3rd International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA) (pp. 114-119). IEEE.
- Hatipoğlu, E., & Kutluay, E.** (2021). Geometric path planning for parallel parking and relevant parameters. *Advances in Automotive Engineering*, Vol. 2, No. 1 (2021) 1-14 <https://doi.org/10.12989/aae.2021.2.1.001>
- Metin, F., & Sezer, V.** (2021). Analysis and improvement of geometric parallel parking methods with respect to the minimum final lateral distance to the parking spot. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 19(2), 441-455.
- Sungwoo, C. H. O. I., Boussard, C., & d'Andréa-Novel, B.** (2011). Easy path planning and robust control for automatic parallel parking. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 656-661.
- Tan, J., Xu, C., Li, L., Wang, F. Y., Cao, D., & Li, L.** (2019). Guidance control for parallel parking tasks. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(1), 301-306.
- Tavakoli, E., Ibrahimi, F., Alipanah, A., & Delrobaei, M.** (2020, December). A Novel Intelligent Parallel Parking System Based on Fuzzy Logic Without Using Sensor. In 2020 6th Iranian Conference on Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS) (pp. 1-5). IEEE.
- Url-1** < <https://inrix.com/resources/inrix-2017-global-traffic-scorecard/>>, date retrieved 13.04.2023.
- Url-2** < [https://nacto.org/docs/usdg/from\\_parking\\_to\\_park\\_dai.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/from_parking_to_park_dai.pdf)>, date retrieved 29.06.2006.
- Wang, L., Guo, L., & He, Y.** (2017, December). Path Planning Algorithm for Automatic Parallel Parking from Arbitrary Initial Angle. In 2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID) (Vol. 2, pp. 55-58). IEEE.
- Yu, L., Wang, X., Hou, Z., Du, Z., Zeng, Y., & Mu, Z.** (2021). Path planning optimization for driverless vehicle in parallel parking integrating radial basis function neural network. *Applied Sciences*, 11(17), 8178.
- Zhang, B., Li, Z., Ni, Y., & Li, Y.** (2022). Research on Path Planning and Tracking Control of Automatic Parking System. *World Electric Vehicle Journal*, 13(1), 14.
- Zhang, J., Shi, Z., Yang, X., & Zhao, J.** (2020). Trajectory planning and tracking control for autonomous parallel parking of a non-holonomic vehicle. *Measurement and Control*, 53(9-10), 1800-1816.

## Review Article

**Bibliometric analysis and trends on energy and sustainability in the field of transportation**Irmak Hatipoğlu<sup>1,\*</sup><sup>1</sup> International Trade and Logistics, Applied Sciences, Akdeniz University, Antalya, Turkey\*Correspondence: [irmakdaldir@akdeniz.edu.tr](mailto:irmakdaldir@akdeniz.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1134417

**Abstract:** Sustainability and energy are frequently used concepts today. This is due to climate change, which has been linked to rising carbon emissions. The transportation sector is one of the sectors that increase carbon emissions. The aim of this study, determined in this direction, is to evaluate the progress of research and applications qualitatively and to share the results by examining the scientific outputs in the field of transportation of the keywords containing the concepts of sustainability and energy. The studies in the Web of Science database were evaluated for this, yielding a total of 611 studies. As a research method, Bibliometric Analysis and a review of the top 10 prominent studies were included. It has been determined that the studies focus on political regulation, searching for the most effective solution with a mathematical model, and city logistics; it has also been determined that technological and academic solutions are still needed in the field.

**Keywords:** Transportation, Content Analysis, Sustainability, Energy

**Ulaştırma alanında enerji ve sürdürülebilirlik konusunda bibliyometrik analiz ve trendler**

**Özet:** Sürdürülebilirlik ve enerji günümüzde sık sık kullanılan kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi artan karbon salınımına bağlanan iklim değişikliğidir. Ulaştırma sektörü de karbon emisyonunu arttıran sektörlerden biridir. Bu doğrultuda belirlenen bu çalışmanın amacı da sürdürülebilirlik ve enerji kavramlarını içeren kilit kelimelerin ulaştırma alanında ortaya konulan bilimsel çıktılarının incelenmesiyle araştırma ve uygulamaların seyrini nitel olarak değerlendirmek ve sonuçlarını paylaşmaktır. Bunun için Web of Science veri tabanındaki çalışmalar incelenmiş toplamda 611 araştırmaya ulaşılmıştır. Araştırma yöntemi olarak ise Bibliyometrik Analize ve öne çıkan 10 çalışmanın analizine yer verilmiştir. Çalışmaların politik düzenleme, matematiksel model ile en etkin çözümü arama ve şehir lojistiği üzerine odaklandığı tespit edilmiş; alanda hala teknolojik ve akademik çözümlere ihtiyaç olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Ulaşım, İçerik Analizi, Sürdürülebilirlik, Enerji

## 1. Introduction

Climate change is one of the most important global problems. Various gases, which are named as greenhouse gases, can occur naturally as well as man-made. Human-induced greenhouse gases are mostly caused by the use of fossil fuels. Transportation systems are one of the prominent industrial areas with the high carbon emissions they emit. To put it more clearly, transportation consumed the most fossil fuels in 2020, accounting for 37% of CO<sub>2</sub> emissions from end-use industries (IEA, 2021). In addition, the increasing trend of carbon emissions in the sector cannot be reduced, in fact, it continues to increase (Foster et al., 2021). In order to examine this negative situation, firstly, the concepts of "sustainability" and "energy" for transportation were examined, and then a bibliometric analysis of the studies in the field of transportation that included these concepts is conducted. Then a literature review is included in order to discover what the most cited, in other words, the studies with high impact focus on. In the study, firstly the concepts of sustainability and energy are examined, then the bibliometric analysis, the examination of the most cited studies and finally the conclusion section.

### 1.1. Sustainability and energy

In recent years, natural disasters have been frequently on the world's agenda. As an example of a few of these disasters, the biggest flood disaster of 200 years in Germany in 2021 is one of the prominent disasters (TRT Haber, 2021). It is estimated that the fires in Brazil in 2020 caused the death of 17 million animals (Gill, 2021). Similarly, it took 240 days to extinguish all the fires in Australia in 2020 (NTV, 2020). In fact, extreme weather events have grown fivefold in the last 50 years, according to the World Meteorological Organization, the UN's weather and climate agency (WMO, 2021). In 2007, the United Nations' Interstate Panel on Climate Changes (IPCC) emphasized that the biggest cause of climate change and the extreme conditions is carbon dioxide gas (IPCC, 2007; United Nations, 2023). This situation has become an internationally accepted factor in reducing carbon dioxide emissions and preventing climate change. Sustainable solutions are among the prominent solution methods.

Since the concept of sustainability is used in different fields, it appears as a concept that can have different meanings depending on the field it is used. Even from the point of view of transportation, it is not easy to make a single definition. However, in its most widely accepted form, sustainability has been defined by the World Commission on Environment and Development as meeting the needs of today's citizens without compromising the ability of future generations to meet their needs (World Commission on Environment and Development, 1987). After this definition, it has started to be used in a broader framework as economic, environmental and social sustainability in order to ensure justice between ourselves and future generations over time (Lautso et al., 2004). The opening of the way for the use of sustainability in many areas has actually been thanks to this expansion of meaning. The Secretary-General's High-Level Advisory Group, which defines sustainable transportation, explains the concept as the provision of infrastructure and services necessary for the mobility of people and goods, considering the benefit of today and the future. It is stated that the way to ensure development in this way should be safe, affordable, accessible, efficient, and flexible by minimizing carbon and other emissions and other environmental impacts (United Nations Secretary-General High-level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016). When it comes to transportation, it is understood that the concept of sustainability means that future generations should not consume their resources and that they should improve today's conditions and make them reasonable for everyone.

Once the Covid-19 restrictions were lifted, the world's transportation sector began to grow, which resulted in an 8% increase in CO<sub>2</sub> emissions in 2021 over the previous year. From 1990 through 2021, the yearly average growth rate of transport emissions was roughly 1.7%, higher than that of any other end-use industry (IEA, 2022). According to ExxonMobil's Outlook for Energy, there will be a 25% increase in the amount of energy required for transportation by 2040 (Exxonmobil, 2020). Efforts are being made to increase the efficiency of energy in transportation from various parties, such as providing this high energy use with cleaner energy sources, preferring efficient transportation models, popularizing vehicles with low fuel consumption, or raising awareness of consumers. In this study, both concepts were chosen as focus words in order to examine the current studies within the scope of sustainability and transportation.

## 2. Methodology

The method includes bibliometric analysis and literature review. For the use of these techniques, Web of Science (WOS) is preferred because it contains distinguished publications. In the search carried out on 28.02.2022, the words “sustain\*” and “energy” were entered in the topic search section and 611 results were obtained. The results are analyzed through R studio. It has published an average of 8.5 studies per year since 1995. Each study received an average of 12.2 citations, and each publication received an average of 1619 annual citations.

### 2.1. Bibliometric Analysis

Studies with a clear distinction according to their types are listed in Table 1. A total of 1776 authors have worked on this subject by publishing in 134 different sources.

**Table 1.** Document Types

Document Types	No:
Article	306
Book Chapter	29
Proceedings Paper	144
Book	2
Editorial material	3
Review	16
Other	151

Table 2 shows the number of articles published by year. We can observe that interest in this topic was minimal until 2001, and then, as interest in general grew, the majority of studies were completed in 2016. Following that, the number of studies completed declined slightly.

**Table 2.** Annual Scientific Production

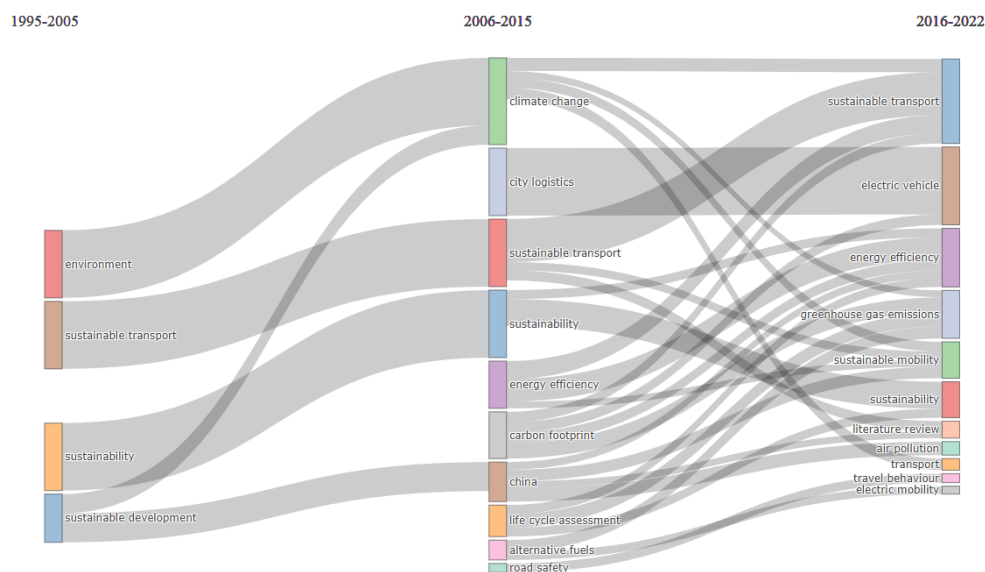
Year	Articles	Year	Articles	Year	Articles
1995	2	2005	5	2015	37
1996	5	2006	6	2016	77
1997	3	2007	6	2017	67
1998	5	2008	8	2018	64
1999	3	2009	17	2019	48
2000	4	2010	16	2020	53
2001	3	2011	24	2021	43
2002	6	2012	41	2022	8
2003	9	2013	35		
2004	15	2014	44		

It is noteworthy that the studies are generally published in environmental and sustainability journals in the field of transportation, as well as in transportation policy journals (Table 3). Table 3 lists journals that have accepted at least 10 publications on at least the subject.

**Table 3.** Journals that publish studies on the subject

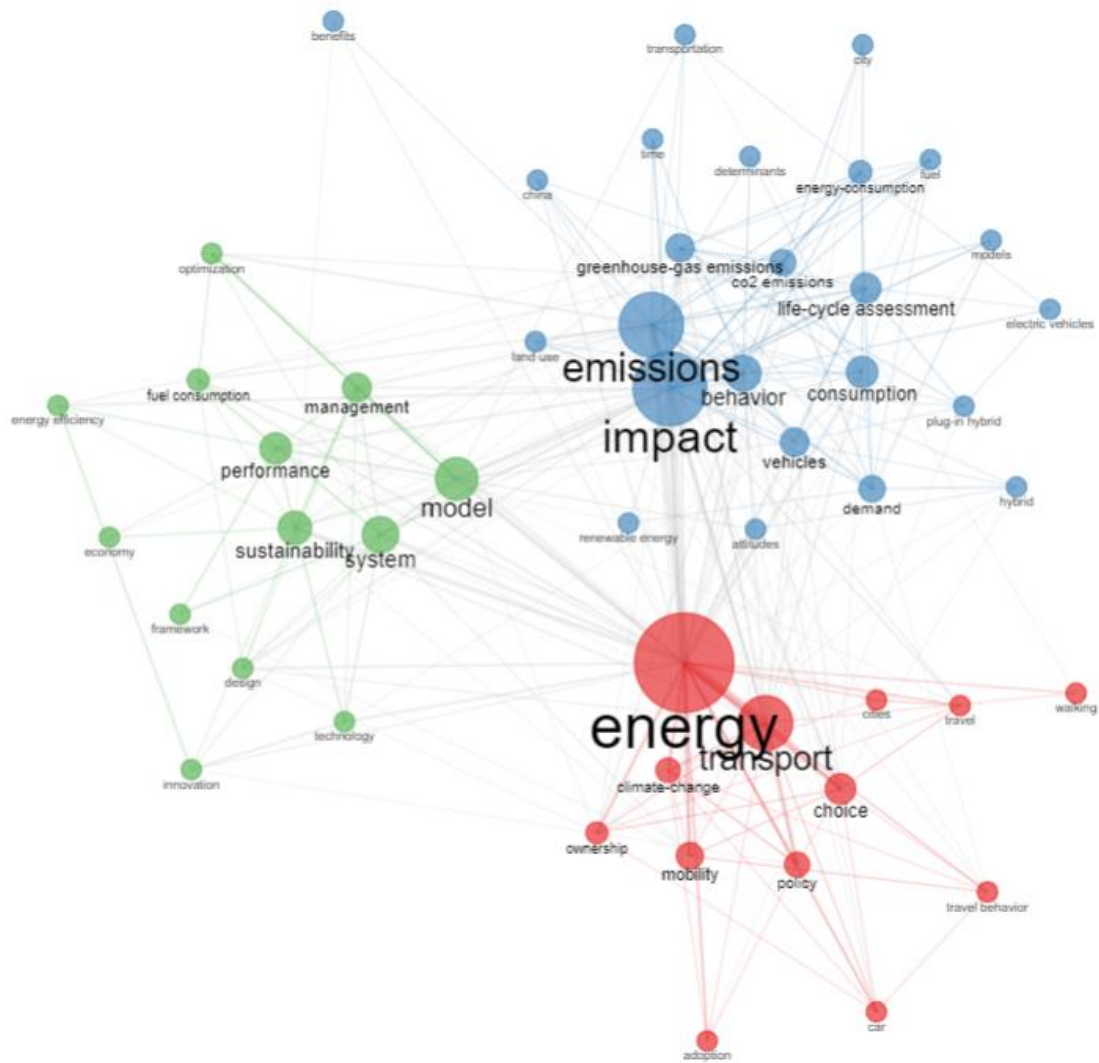
No	Sources	Articles
1	Transportation Research Part D-Transport and Environment	114
2	Transportation Research Record	69
3	International Journal of Sustainable Transportation	41
4	Transport Policy	33
5	Transportation Research Part A-Policy and Practice	24
6	Journal of Transport Geography	21
7	Transport Research Arena Tra2016	21
8	Transport Research Arena 2012	15
9	Research in Transportation Economics	11
10	Sustainable City III: Urban Regeneration and Sustainability	10
11	Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review	10
12	Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behavior	10

When the thematic evaluation, which is created within approximately 10-year periods, is examined (Figure 1), it can be seen that environment, sustainable transport, sustainability, and sustainable development were the prominent author keywords in the years 1995-2006. Between the years 2006-2015, the key words climate change, sustainable transport, sustainability and China were used. Independent from the previous period, the newly added key words to the field were city logistics, energy efficiency, carbon footprint, life cycle assessment, alternative fuels, and road safety. The keyword chosen as sustainable development in the previous period has evolved into the words climate change and China. The emergence of China as a keyword at this stage was realized with its admission to the World Trade Organization (WTO) in 2001. In the last period (2016-2022), the key words electric vehicle, green gas emissions, sustainable mobility, literature review, air pollution, transport, travel behavior, and electric mobility have been added. In the last period, it may seem normal to mention that China has evolved into air pollution and sustainable mobility, because in the first years it was on the agenda with a much more uncontrolled production and energy consumption. Again, in the last period, electric vehicles have started to take place in key words after being seen as an alternative in transportation. When the thematic evaluation is examined in general, we see that the first period is simpler, the concepts are getting deeper and their relations with each other are getting stronger over time.



**Figure 1.** Thematic Evaluation





**Figure 2.** Co-occurrence Network

When the co-occurrence network in figure 2 is examined, it is seen that three main groups emerge. While energy and transportation are the key words of a main group, travel and transportation preferences are included in the sub-headings. The group dealing with environmental negative impacts is differentiated in blue. Here, there are keywords such as consumption, demand, and fuel types used. In the last group, it is seen that there are more technological or model-oriented solutions for more efficient use in sustainability and energy saving issues.

According to Figure 3, studies on these topics are gathered in two different clusters regarding consistency between variables. It is seen that the studies carried out in a group are those that try to offer solutions for more effective use, such as model, technology, optimization. The other group, on the other hand, is more comprehensive and focuses on the results of transportation, namely on issues such as emissions and pollution, and on the search for alternatives to the current transportation. Finally, another feature of the second group is that it includes city logistics, so it is seen that subjects such as vehicle ownership, attitudes of people, policy, public transportation, land use are included here.

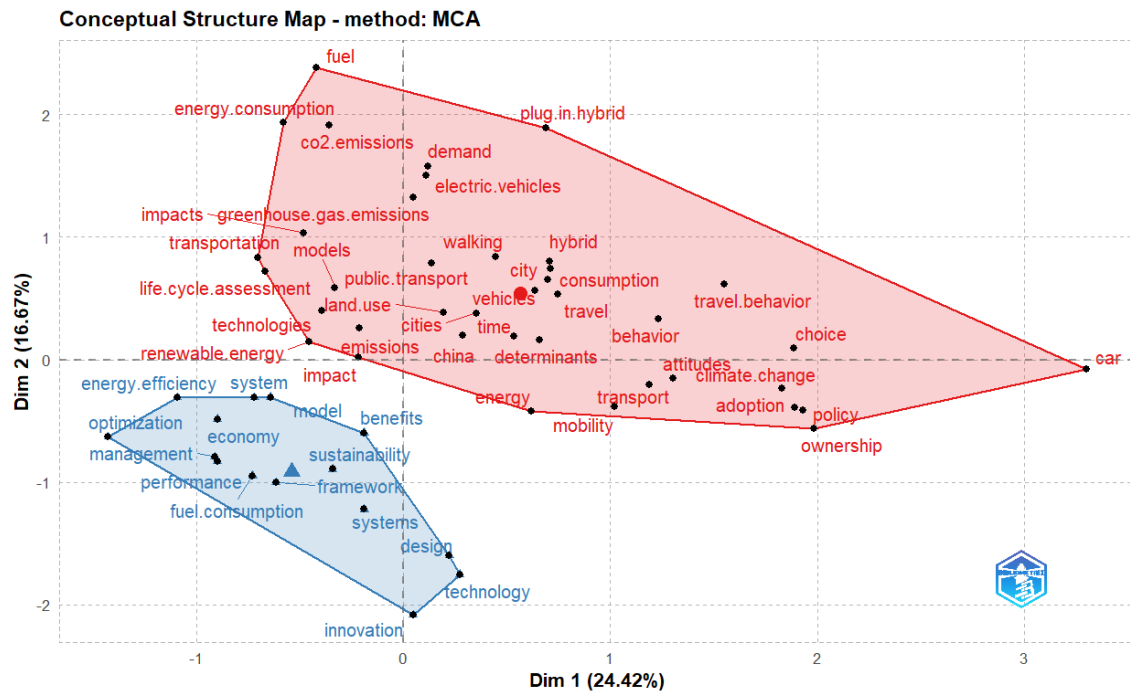


Figure 3. MCA Results

## 2.2. Review of highly cited articles

In this study, in which the bibliometric analysis of the concepts of sustainability and energy in the field of transportation is being carried out, the analysis of the most cited studies is included in this section in order to reveal the areas of interest in the literature.

The most cited study is the literature review in the field of transportation and climate change (Chapman, 2007). Another literature review examines the environmental sustainability of transport and logistics service providers (Centobelli et al., 2017). The last literature review included in the ranking is the literature review in the field of green port and marine logistics. When examined in other highly cited studies, it is seen that there are optimizations made on the use of bioethanol in the supply chain (Chen & Fan, 2012; Yongxi Huang et al., 2010). Since the use of biofuels is sustainable due to the fact that it reduces CO<sub>2</sub> emission, fossil fuel use, and is produced from waste, it is becoming widespread and interest in studies on this subject is increasing. The other research area that attracts the attention of researchers is sustainable transportation systems in a city or a certain region (He & Chen, 2013; Kennedy, 2002; Murray et al., 1998; Wu et al., 2016; Yedla & Shrestha, 2003). These studies focus on how to improve transportation and make it sustainable by choosing a specific region as a study area and restricting their investigation to the relevant area. Especially after the carbon emission target determined in European Union 2011 White Paper, it is seen that these studies have increased. They jointly focus on what can be done to encourage the use of public transport, and in some cases, the use of bicycles. Similarly, after the goal of reducing carbon emissions, studies on hybrid and electric vehicles are highly cited. In these studies, the behavior of users to charge their vehicles (Franke & Krems, 2013), the motivation and determination of obstacles to motivate the spread of electric vehicles in Europe (Biresselioglu et al., 2018), and in a study conducted in Portugal, the rate of increase of 35% to 65% in case of encouraging the use of electric and hybrid vehicles in car sharing. It is being researched that carbon emissions will decrease (Baptista et al., 2014). One of the current studies is on the smart city concept. Similarly, this study is recommended because of the difficulty of achieving the goals of the White Paper. It reveals that transformation in the energy sector will be required in order to achieve these goals, and the smart city is presented as a solution (Zawieska & Pieriegud, 2018). A study examining the concept of sustainability in transportation from a different perspective underlines that the perspective on the concepts of distance, speed, and time should be changed and that the understanding that transportation should be fast is not sustainable (Banister, 2011). Another study investigates the effect of road maintenance works on carbon emissions in the UK (Yue Huang et al., 2009). In a different study

on road construction, the materials used and their effects on the environment are also investigated (Horvath & Hendrickson, 1998). In a tourism-oriented study, the growth and CO<sub>2</sub> effects of tourism between Eastern and Western Europe for regions are examined (Paramati et al., 2017). In a supply chain focused study, closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty is studied with a sustainable design (Zhalechian et al., 2016). Another supply chain focused study examines the competitiveness of green supply chains (Hafezalkotob, 2017).

As a result of the examination of the studies that most attract the attention of the researchers, it is seen that the literature reviews attract attention in terms of showing the gaps in the literature. In addition, it has been determined that research on encouraging public transportation, the use of bicycles, the benefits of shared vehicles, and electric and hybrid vehicles attract attention in these studies, where city-oriented studies are carried out to reduce carbon emissions, especially after the White Paper. The smart city concept, which is presented as an up-to-date and innovative solution, is recommended for sustainable systems and is in an attractive position. It has been concluded that there is a need to further develop these new and current concepts in the field and to search for sustainable solutions not only for city logistics but also for supply chains. Finally, it has been determined that the mathematical models that biofuels, which are seen as a fossil fuel alternative, are an important alternative for sustainability, also attract attention, and this is seen as an important source by researchers in terms of carbon emissions and energy consumption. These areas are still currently attracting attention and are the focus of attention by researchers.

### 3. Conclusion

Sustainable and energy efficient or renewable transportation has now become a necessity. It is possible to show the reason for this as high carbon emissions and high fossil fuel consumption. In the bibliometric analysis performed via WOS, it is seen that the first studies were made in 1995. Since then, different approaches have been tried to find a solution to the issue. It is seen that the solutions are generally focused on how the effects of political regulations will be, mathematical models and energy efficiency and sustainability, and city logistics. These issues come to the fore in both bibliometric analysis and review. Although the studies conducted in recent years have decreased compared to the year in which the most studies were conducted in 2017, it is thought that the reason for this is the shift of academic interest in different directions with the effect of the global epidemic. The requirement for transportation to have less negative environmental effects, be accessible to everyone, and be cost-effective is not yet matured enough. As a result, the research area requires both technological breakthroughs and academic solutions.

### Statement of Support and Acknowledgment

The study did not receive any support. There is no institution or person to thank.

### Conflict of interest statement

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

### References

- Banister, D. (2011). Cities, mobility and climate change. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1538–1546. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.03.009>
- Baptista, P., Melo, S., & Rolim, C. (2014). Energy, Environmental and Mobility Impacts of Car-sharing Systems. Empirical Results from Lisbon, Portugal. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.035>

- Biresselioglu, M. E., Demirbag Kaplan, M., & Yilmaz, B. K. (2018). Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109(February), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.017>
- Centobelli, P., Cerchione, R., & Esposito, E. (2017). Environmental sustainability in the service industry of transportation and logistics service providers: Systematic literature review and research directions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 454–470. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.032>
- Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 354–367. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.008>
- Chen, C. W., & Fan, Y. (2012). Bioethanol supply chain system planning under supply and demand uncertainties. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.004>
- Exxonmobil. (2020, February 27). *The road to 2040: What's fueling transportation growth*. <https://energyfactor.exxonmobil.com/insights/focus/road-to-2040/>
- Foster, V., Dim, J. U., Zhang, F., & Vollmer, S. (2021). How can we explain the rise in transport emissions... and what can we do about it? *Transport for Development*. <https://blogs.worldbank.org/transport/how-can-we-explain-rise-transport-emissions-and-what-can-we-do-about-it>
- Franke, T., & Krems, J. F. (2013). Understanding charging behaviour of electric vehicle users. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.002>
- Gill, V. (2021). *İklim değişikliği: Brezilya'daki 2020 yangınları 17 milyon hayvanın ölümüne yol açtı*. BBC. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-59703491>
- Hafezalkotob, A. (2017). Competition, cooperation, and coepetition of green supply chains under regulations on energy saving levels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 97, 228–250. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.11.004>
- He, L. Y., & Chen, Y. (2013). Thou shalt drive electric and hybrid vehicles: Scenario analysis on energy saving and emission mitigation for road transportation sector in China. *Transport Policy*, 25, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.006>
- Horvath, A., & Hendrickson, C. (1998). Comparison of Environmental Implications of Asphalt and Steel-Reinforced Concrete Pavements. *Transportation Research Record*, 1(1626), 105–113.
- Huang, Yongxi, Chen, C. W., & Fan, Y. (2010). Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 820–830. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.03.002>
- Huang, Yue, Bird, R., & Bell, M. (2009). A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.003>
- IEA. (2020). *Transport Improving the sustainability of passenger and freight transport*. <https://www.iea.org/Topics/Transport>.
- IEA. (2022). *Transport*. <https://www.iea.org/reports/transport>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00250-9>
- Kennedy, C. A. (2002). A comparison of the sustainability of public and private transportation systems: Study of the Greater Toronto Area. *Transportation*, 29(4), 459–493. <https://doi.org/10.1023/A:1016302913909>

- Lautso, K., Spiekermann, K., Wegener, M., Sheppard, I., Steadman, P., Martino, A., Domingo, R., & Gayda, S. (2004). *PROPOLIS: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*. [http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/PROPOLIS\\_Final\\_Report.pdf](http://www.spiekermann-wegener.de/pro/pdf/PROPOLIS_Final_Report.pdf)
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R. J., & Ferreira, L. (1998). Public transportation access. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(5), 319–328. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(98)00010-8)
- NTV. (2020, March). *Avustralya'daki yangınlar 240 gün sonra söndü*. [https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/avustralyadaki-yanginlar-240-gun-sonra-sondu,K\\_h3JFomOEadSfL4I6I5SQ/w7L-QG4cLUqdIIgVIQ4N0g](https://www.ntv.com.tr/galeri/dunya/avustralyadaki-yanginlar-240-gun-sonra-sondu,K_h3JFomOEadSfL4I6I5SQ/w7L-QG4cLUqdIIgVIQ4N0g)
- Paramati, S. R., Shahbaz, M., & Alam, M. S. (2017). Does tourism degrade environmental quality? A comparative study of Eastern and Western European Union. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.034>
- TRT Haber. (2021). *Almanya'da son 200 yılın en büyük sel felaketi*. <https://www.trthaber.com/haber/dunya/almanya-da-son-200-yilin-en-buyuk-sel-felaketi-596427.html>
- United Nations. (2023). *Causes and Effects of Climate Change*. <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- United Nations Secretary-General High-level Advisory Group on Sustainable Transport. (2016). *Mobilizing Sustainable Transport for Development: Analysis and Policy Recommendations*. <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2375&menu=1515>
- WMO. (2021). *State of the Global Climate 2021*.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. In *Oxford University Press*.
- Wu, J., Zhu, Q., Chu, J., Liu, H., & Liang, L. (2016). Measuring energy and environmental efficiency of transportation systems in China based on a parallel DEA approach. *Transportation Research Part D*, 48, 460–472. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.08.001>
- Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 717–729. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(03\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(03)00027-2)
- Zawieska, J., & Pieriegud, J. (2018). Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation. *Transport Policy*, 63(June 2017), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.11.004>
- Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182–214. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.02.011>

## Araştırma Makalesi

## Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisinin Yaygınlaştırılması: Türkiye Önerisi

Esma Dilek<sup>1,\*</sup>, Özgür Talih<sup>2</sup>, Halim Ceylan<sup>3</sup><sup>1</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgi Güvenliği Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye<sup>3</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye\*Correspondence: [esma.dilek@gazi.edu.tr](mailto:esma.dilek@gazi.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1309583

**Özet:** Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) trafik sıkışıklığı, emniyet, hava kirliliği gibi ulaşım kaynaklı birçok önemli sorunu ele almak, ulaşım altyapılarının verimliliğini artırmak ve sürdürülebilirliğine katkı sunmak için dünyada yaygın olarak kullanılan çözümlerdir. AUS mimarisi, AUS uygulamalarını planlamak, tanımlamak, entegre etmek, birlikte çalışabilirliği sağlamak, ulaşım faaliyetlerini iyileştirerek verimliliği artırmak ve yeni kullanıcı hizmetlerini desteklemek için AUS uygulamalarının geliştirilmesine yönelik bir çerçeve sunmaktadır. Bu çalışmada, AUS mimarilerinin dünyadaki tarihsel gelişimi doğrultusunda öne çıkan ARC-IT, FRAME, ISO referans AUS mimarileri incelenerek AUS mimarisinin önemine, faydalarına, bileşenlerine değinilmiş, AUS mimarisi geliştirmek için kullanılan araçlar sunulmuştur. Dünyadaki ulusal ve bölgesel AUS mimarilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar özetlendikten sonra Türkiye'deki mevcut durum ele alınmış ve ulusal AUS mimarisinin kullanımının yaygınlaştırılması amacıyla Türkiye için bir model önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaşım sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri mimarisi, birlikte çalışabilirlik, entegrasyon, ARC-IT, FRAME

**Dissemination of National Intelligent Transportation Systems Architecture:  
Proposal for Türkiye**

**Abstract:** Intelligent Transportation Systems (ITS) are solutions that are widely used in the world to address many important transportation-related problems such as traffic congestion, safety and air pollution, to increase the efficiency of transportation infrastructures and to contribute to their sustainability. An ITS architecture provides a framework for the development of ITS applications to plan, define, integrate ITS applications, ensure interoperability, increase efficiency by improving transportation operations, and support new user services. In this study, ARC-IT, FRAME, ISO reference ITS architectures, which stand out in line with the historical development of ITS architectures in the world, are examined and the importance, benefits and components of the ITS architecture are reviewed, and the tools used to develop an ITS architecture are presented. After summarizing the studies on the development of national and regional ITS architectures in the world, the current situation in Türkiye is discussed and a model is proposed for Türkiye to extend the use of the national ITS architecture.

**Keywords:** Intelligent transportation systems, intelligent transportation systems architecture, interoperability, integration, ARC-IT, FRAME

## 1. Giriş

Akıllı Ulaşım Sistemleri, ulaşımın yönetimini, izlenmesini, kontrolünü ve emniyetini iyileştirmek için tasarlanmış, geliştirilmiş telekomünikasyon ve bilgisayar teknolojilerinin birleşimine dayalı bir dizi çözümdür. AUS, bilgi ve haberleşme teknolojilerinin ulaşım sektöründe, ekonomik, sosyal ve enerji gibi alanlarda faydalar elde etmek için kullanılan birçok uygulama ve bileşen içermektedir. Aynı zamanda AUS; araç, altyapı ve kullanıcıların dahil olduğu ulaşımın farklı tüm türlerine de uygulanabilmektedir. AUS sayesinde elde edilen iyileştirmeler sonucunda, sunulan hizmetlerin operasyonel verimliliği ve güvenilirliği artırılmakta, etkin bir ulaşım altyapısı yönetimi yapılabilmektedir. AUS, daha emniyetli ulaşım sistemleri oluşturulması ve ulaşım kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olurken ulaşım kullanıcılarına çeşitli bilgi hizmetleri de sunmaktadır. Ulaşım sistemlerinde sağladığı emniyet, verimlilik, sürdürülebilirlik ve konfor sayesinde, AUS insanların ve yüklerin hareketliliğini iyileştirmek için kilit bir oyuncu haline gelmiştir (Perallos vd., 2015).

Planlama ve uygulama süreçleri için sistematik bir temel gerektiren, büyük ve karmaşık yapılara sahip olmakla birlikte, yoğun bilgi teknolojisi unsuru içermesi nedeniyle AUS'un, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için iyi yönetilmesi gerekmektedir. AUS'un başarılı uygulanması için yeni fonksiyonlar eklendikçe ve mevcut fonksiyonlarda değişim, büyüme ortaya çıktıkça entegrasyon amacıyla aşamalandırma ve planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. AUS gibi büyük ve karmaşık sistemler, aşağıdaki ortak özelliklere sahiptir:

- Uyumluluk,
- Genişletilebilirlik,
- Birlikte çalışabilirlik,
- Entegrasyon,
- Standardizasyon.

AUS mimarisi, bu özelliklerin AUS uygulamalarında ülke genelinde yaygınlaştırılması için bir çerçeve sunmaktadır (Yokota & Weiland, 2004). Akıllı ulaşım sistemlerini planlamaya, tanımlamaya, uygulamaya ve entegre etmeye yönelik bir çerçeve sunan AUS mimarisi; AUS uygulayıcıları, sistem mühendisleri, sistem geliştiriciler, teknoloji uzmanları ve danışmanlar için oldukça faydalı bir çözüm olarak AUS uygulamalarında öncülük eden ülkelerin birçoğu tarafından kullanılmaktadır.

AUS'un kamu ve özel sektör arasında başarılı ve koordineli gelişmesine destek olarak sistematik ve tutarlı bir şekilde uygulanması ile devam eden ilerlemesine rehberlik etmeye yardımcı olan AUS mimarisi, dünya çapında üzerinde uzun yıllar çalışılan aktif bir konu olmuştur. Bu nedenle, birçok ülke, AUS'u planlamak ve uygulamak için temel bir çerçeve sağlayan AUS mimarisi geliştirmeye önem vermiştir. Ülkelerin farklı kullanıcı hizmetleri gereksinimleri, altyapılarının mevcut durumu, farklı pazar talepleri, sosyal ve ekonomik kalkınma politikaları ve işletme uygulamaları gibi faktörler nedeniyle AUS mimarisi geliştirme girişimleri çoğunlukla ülkelere özgü ve özel AUS mimarilerinin benimsenmesiyle sonuçlanmıştır (Liu vd., 2005). Bununla birlikte, AUS mimarisi oluşturulması ve uygulanması için FRAME olarak adlandırılan Avrupa AUS çerçeve mimarisi ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ulusal AUS mimarisi (ARC-IT, The Architecture Reference for Cooperative and Intelligent Transportation) tarafından temsil edilen farklı iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar arasındaki başlıca farklılıklar kullanım tarzları ve esneklikleriyle ilgilidir. Avrupa'nın karşı karşıya olduğu zorluk, farklı ihtiyaçlara sahip birçok devletin bulunması ve bu nedenle hepsine uygun evrensel bir AUS mimarisi oluşturmanın mümkün olmamasıdır. Bu nedenle, Avrupa düzeyinde, belirli devletler tarafından bireysel gereksinimlerine göre ulusal veya bölgesel mimarilerin oluşturulabileceği çerçeve mimari bulunmaktadır. Diğer yandan ABD; temel, sabit bir AUS mimarisine sahip olup AUS'un uygulanması için federal mali destek talep edilmesi durumunda, mimarinin kullanılmasını zorunlu tutmaktadır (Bélinová vd., 2010).

Dünyada ulusal AUS mimarisi geliştirme çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamış ve ilk ulusal AUS mimarisi ABD tarafından 1996 yılında, Japonya tarafından 1999 yılında, Çin tarafından 2000 yılında, Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa'nın ilk AUS çerçeve mimarisi ise 2000 yılında yayınlanarak bu alandaki çalışmalara öncülük edilmiştir.

Türkiye'de 1985'ten 1995'e kadar olan zaman aralığında, trafik yönetim sistemleri ve otomatik ücretlendirme sistemlerinin ortaya çıkışıyla akıllı ulaşım konusu gündeme gelmeye başlamıştır. Sonraki

on yıllık zaman diliminde ise elektronik ödeme sistemleri, trafik kontrol merkezleri ve değişken mesaj işaretleri, yol ağında akıllı sistemler olarak yerini almıştır. 2019 yılı sonlarına kadar elektronik denetleme sistemleri, adaptif kavşak kontrol sistemleri, otomatik araç sayımları, yolcu bilgilendirme sistemleri, AUS strateji belgesi ve eylem planı, e-Call (acil durum yönetim sistemleri), navlun ve filo yönetimi gibi bilgi ve haberleşme teknolojilerini içeren akıllı çözümlere şahit olunmuştur. 2020 yılı sonrasında ise Türkiye’de AUS’a ilişkin altın çağ olarak değerlendirilebilecek çalışmaların başladığı söylenebilir. Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı’nın 2020 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte, bu alanda ilerleme kaydedilmiş mevcut birçok faaliyetin yanında kooperatif AUS (K-AUS), Bir Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS, Mobility as a Service), otonom hareketlilik gibi yenilikçi konular sektörün gündeminde yerini almıştır.

AUS, çok paydaşlı, çok modlu ve disiplinler arası iş birliği gerektiren yapısıyla, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de büyük bir ekosisteme sahiptir. Bu ekosistemdeki faaliyetlerin sayısının ve çeşitliliğinin, sürdürülebilir ulaşım ve yaşama ilişkin sorunlara sunduğu çözümler doğrultusunda artmasıyla, bu alana yönelik organize ve sistemli bir yönetim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu doğrultuda Türkiye’de AUS mimarisi ile ilgili çalışmalara 2014 yılında başlanmış, ancak belirli bir olgunluğa erişmesi 2020 yılı sonrasında olmuştur.

Bu çalışmada, dünyada ve Türkiye’de ulusal AUS mimarisi geliştirme girişimlerine ilişkin literatür çalışmaları gözden geçirildikten sonra, ulusal AUS mimarisinin Türkiye’de kullanımının yaygınlaştırılması için öneriler ve bu doğrultuda bir model sunulmuştur. Bu çalışmanın temel özellikleri ve önceki çalışmalardan farkları aşağıda listelenmiştir:

- AUS sistem mimarisi geliştirme girişimlerinin başladığı 1990’lı yıllar ve sonrasında dünyada yaşanan gelişmeler ele alınarak ulusal ve bölgesel AUS mimarisi geliştirme çalışmalarının güncel bir özeti, tarihsel gelişimi, ulusal AUS mimarisinin önemi, faydaları, AUS mimarisi geliştirmede kullanılan araçlar ile Türkiye’deki mevcut duruma ilişkin bilgiler sunulmuştur.
- Çalışmada, ulusal AUS mimarisinin Türkiye’de yaygınlaştırılması için öneriler ve bir model sunulmuştur. Kullanım, özendirme ve sahiplenme başlıkları altında faaliyetlerin yer aldığı modelde, “Ulusal AUS Mimarisi Yaygınlaştırma Prosedürü”nün oluşturulması önerilmiştir.
- Dünyadaki AUS mimarisi geliştirme girişimlerinin kapsayıcı bir resmi ortaya koyularak Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması konusunda kamu kurumlarına, özel sektöre, akademiye bakış açısı kazandırılması amaçlanmıştır.

Bu makalenin geri kalan bölümü şu şekilde organize edilmiştir: İlk olarak 2. bölümde, AUS mimarisi, önemi, bileşenleri açıklanmış, literatürde yer alan ulusal AUS mimarisi ve bölgesel uygulamalar ile araştırmalar sunulmuştur. Ardından, 3. bölümde dünyada AUS referans mimarileri ve gelişimleri gözden geçirilmiş, ABD’de, Avrupa’da ve Asya ülkelerinde kullanılan AUS mimarileri incelenerek AUS mimarisi geliştirmek için kullanılan platformlar ve araçlar analiz edilmiştir. 4. bölümde, Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin mevcut durumuna ilişkin bilgiler verilerek geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler ve Türkiye için bir model paylaşılmıştır. Son olarak 5. bölümde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

## 2. Literatür çalışmaları

### 2.1. AUS mimarisi

AUS mimarisi, akıllı ulaşım ile ilgili teknolojileri, bileşenleri ve faaliyetleri planlamak, analiz etmek, tanımlamak, uygulamak ve entegre bir şekilde çalışmalarını sağlamak için çerçeve sunarak aynı zamanda bunların iş, organizasyonel ve teknik uygulamalarının anlaşılmasına olanak tanımaktadır (Perallos vd., 2015). AUS mimarisi, bir AUS uygulamasının sistem tasarımı bakış açısıyla nasıl görüneceğine dair görüş sunmakta ve farklı AUS bileşenleri ile harici arayüzler (işletmeciler, paydaşlar ve diğer sistemler) arasında veri alışverişi ile kontrol yönergelerini açıklamaktadır. AUS uygulamalarından beklenen sonuçlara ulaşabilmek amacıyla AUS mimarisi, bu uygulamaları oluşturan kullanıcı hizmetlerinin fonksiyonlarını, bu fonksiyonların yer aldığı varlıkları, bu fonksiyonları ve varlıkları birbirine bağlayan bilgi ve veri akışlarını tarif etmektedir. Ayrıca, bu akışlar için gereken ara bağlantıların ve birlikte çalışabilirlik seviyesine erişmek için gereken performans özelliklerinin tanımlanmasını sağlamaktadır. AUS mimarisi, AUS ihtiyaçlarını karşılamak için akıllı ulaşım alanına yönelik her bir uygulamanın birlikte nasıl çalışabileceğini açıklayan bir araç sunmaktadır.



AUS mimarisi, belirli bir sistemin yapısını, davranışını ve çevresiyle entegrasyonunu tanımlayan kavramsal tasarım sunmaktadır (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010). AUS uygulamalarının bir ülke genelinde uyumlu ve etkileşimli bir şekilde geliştirilmesi ile uygulanmasını sağlayan AUS mimarisi sayesinde, uygulamalar arasında haberleşme, birlikte çalışabilirlik ve veri alışverişinin mevcut ve gelecekte kolay ve entegre bir şekilde yapılması mümkün olmaktadır.

AUS mimarisinin önemli bir bölümü, akıllı ulaşımın temel bileşenleri arasındaki arayüzlerin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Bu arayüzler, genel bir akıllı ulaşım sisteminin ana bileşenlerinin birbirleriyle iletişim kurmasını ve birlikte çalışmasını sağlamaktadır. AUS mimarisi kısaca şunları tanımlamaktadır (Yokota & Weiland, 2004):

- AUS sistemlerinin ve uygulamalarının gerçekleştirmesi beklenen kullanıcı hizmetlerini,
- Kullanıcı hizmetlerini oluşturan fonksiyonları ve bu fonksiyonların bulunduğu varlıkları,
- Fonksiyonları ve varlıkları birbirine bağlayan bilgi akışları ve veri akışlarını.

AUS mimarisi, her kullanıcı hizmeti için fonksiyonları ve bilgi akışları ile birlikte, kullanıcı hizmetleri arasında paylaşılanları da tanımlamaktadır. Bu sayede mimari geliştirme süreci, ortak fonksiyonların, veri ve bilgi akışlarının tanımlanmasını sağlamaktadır. Böylece AUS mimarisi, sistem geliştirmeye yönelik yüksek düzeyde, yukarıdan aşağıya bir sistem mühendisliği yaklaşımı sunmaktadır (Hickman vd., 1996). Bir AUS sistem mimarisi, AUS'un ne yaptığını (kullanıcı hizmetleri), bunun nerede olduğunu (varlıklar) ve bu bileşenler arasında hangi bilgilerin hareket ettiğini (akışlar) açıklamaktadır.

### 2.1.1. Kullanıcı hizmetleri

Akıllı ulaşım sistemlerinin ve uygulamalarının gerçekleştirdiği veya desteklediği uygulamalar, kullanıcı hizmetleri olarak tanımlanmaktadır. Tipik kullanıcı hizmetleri arasında yolcu bilgilendirme, trafik yönetimi, elektronik ücret toplama, acil durum yönetimi, trafik olay yönetimi, kamu ve özel araç filo yönetim sistemi gibi hizmetler yer almaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

### 2.1.2. Varlıklar

Kullanıcı hizmetlerinin yerine getirildiği trafik yönetim merkezleri, toplu taşıma araçları gibi fiziksel lokasyonlar, AUS uygulamalarıyla etkileşime girerek onlara bilgi gönderen ve onlardan bilgi ile hizmet alan yolcu ve sistem yöneticileri gibi yol kullanıcıları, varlıkları oluşturmaktadır. AUS kullanıcı hizmetlerini gerçekleştirmeye yardımcı olan elektronik ücret toplama sistemleri, otopark bilet yönetimi gibi sistemler de varlıklar olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, AUS'un bir parçası olmayan AUS bilgilerinin dış kaynakları veya hedefleri de varlık olabilmektedir. Örneğin, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve hava tahmin sistemleri, AUS uygulamaları veya alt sistemleri içinde yer almasa bile bunlardan gelen bilgiler birçok AUS sistemi tarafından kullanılmakta olup bu tür varlıklar da mimaride genellikle dikkate alınmaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

### 2.1.3. Bilgi ve veri akışları

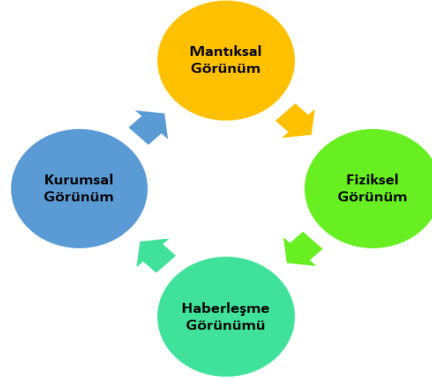
Bilgi akışları ve veri akışları, kullanıcı hizmetlerini ve varlıkları genel bir sisteme bağlamaktadır. Örneğin elektronik ücret toplama sistemleri, bir araçtan (fiziksel varlık) bir ücret toplama sistemine (alt sistem) ve ücret toplama sisteminden merkezi bir muhasebe sistemine (harici varış noktası) veri akışlarını içermektedir. AUS uygulamalarının sağladığı faydaların ve etkinin büyük bir bölümü, ulaşım sistemi hakkında bilgi toplama, analiz etme ve dağıtma yeteneklerinden gelmekte olup bu bilgi hareketi, "bilgi ve veri akışları" olarak tanımlanmaktadır. Bu verilerin fiziksel hareketi genellikle kablolu veya kablosuz haberleşme teknolojileriyle gerçekleştirilmektedir (Yokota & Weiland, 2004).

### 2.1.4. AUS mimarisi görünümüleri

Bir AUS mimarisinde, farklı detay seviyelerini ve bilgi türlerini tasvir eden, farklı kaynaklarda bakış açısı ya da mimari olarak da zikredilen çoklu görünüm kullanılmaktadır. Şekil 1'de şematik olarak gösterilen görünüm arasında aşağıdakiler yer almaktadır:

- Mantıksal (veya Fonksiyonel) Görünüm: Çeşitli veri öğelerinin nasıl akması ve işlenmesi gerektiğini açıklayan sistem mantığıdır (veya fonksiyonelliğidir).
- Fiziksel Görünüm: AUS fonksiyonelliğinin, sistemin fiziksel bileşenlerinde nasıl yer alacağını tarif etmektedir.

- Haberleşme Görünümü: Fiziksel bileşenlerin kendi aralarında ve dış dünya ile fiziksel bileşenler arasında hangi iletişim bileşenlerine gereksinim duyulduğunu belirtmektedir.
- Kurumsal (veya Organizasyonel) Görünüm: Sistem bileşenlerinin, iletişimlerin ve sorumlulukların, AUS hizmet sağlayıcıları ve kullanıcıları arasında nasıl dağıtılacağını açıklamaktadır.



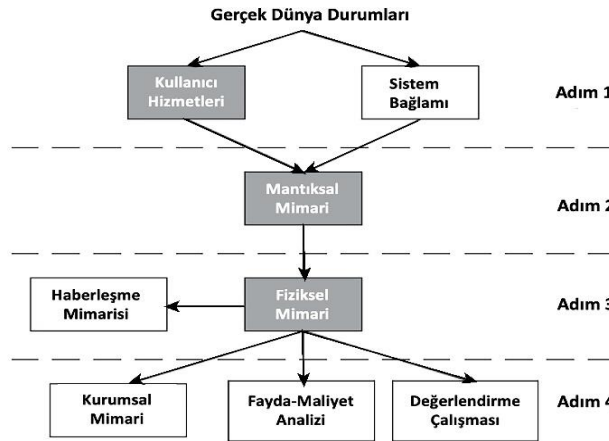
Şekil 1. AUS mimarisi görünümü

### 2.1.5. AUS mimarisi geliştirme süreci

Gerçek dünya ihtiyaçlarından yola çıkılarak belirlenen ve Şekil 2’de örnek bir gösterimi sunulan AUS mimarisi geliştirme prosedüründe, fayda-maliyet analizi değerlendirme çalışmalarını içeren aşağıdaki dört temel adım bulunmaktadır (Liu vd., 2005):

1. Kullanıcı hizmetleri ve sistem bağlamı,
2. Mantıksal mimari,
3. Fiziksel ve haberleşme mimarisi,
4. Kurumsal mimari.

Literatür çalışmalarında, AUS mimarisi geliştirme sürecinde bu temel adımların uygulandığı gözlenmektedir.



Şekil 2. AUS mimarisi geliştirme prosedürü

### 2.2. Ulusal AUS mimarisinin önemi ve faydaları

AUS, bireysel ya da birbirinden bağımsız uygulamalar dizisi olarak sunulabilmektedir. Bu durum verilerin toplanması ve kullanımında mükerrerliği artırmakta, aynı zamanda kapsamın genişlemesi nedeniyle gelecekte entegrasyon ve bilgi paylaşımı için sorunlara neden olmaktadır. Aynı zamanda sistemlerin zaman içerisinde yenilenmesi ve bunun genel bir maliyetinin olması nedeniyle, mevcut kurulu sistemlerin etkili, yönetilebilir, genişletilebilir, bakımı yapılabilir sistematikte olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, sunulan AUS kullanıcı hizmetlerinin etkili ve verimli olması için sunulan toplu taşıma, otopark yönetimi, trafik yönetimi sistemleri gibi gelişmiş AUS uygulamalarının, farklı şehirlerde birbiri ile entegre olabilmesi ve belirli bir düzeyde iş birliği yapabilmesine gereksinim duyulmaktadır.

Bu nedenle, AUS ancak bir sistem mühendisliği yaklaşımıyla sunulduğunda başarılı olabilmektedir. AUS mimarisi, sistemlerin planlanması ve uygulanmasında, devlet kurumlarına ve yerel kurumlara, AUS ürün ve hizmetlerinin, diğer AUS ürün ve hizmetleriyle uyumlu ve birlikte çalışabilir olduğundan emin olabilmesi için ortak bir çerçeve sağlamaktadır.

Ulusal AUS mimarisinin üç temel faydası; sistem entegrasyonu için bir çerçeve sunmak, ortak verileri ve fonksiyonları tanımlamak ve açık arayüz standartlarını belirlemektir. Bu mimari özelliklerin, ürün tedarikçileri ile birlikte, AUS kullanıcıları için daha düşük sistem maliyetleri ve daha fazla fayda sağlaması muhtemeldir (Hickman vd., 1996). AUS fonksiyonlarının, arayüzlerin ve veri akışlarının kapsamlı bir tanımlamasını sunan ulusal AUS mimarisi sayesinde, sistem entegratörleri, ürün ve hizmetlerinin uyumlu olduğu sistem tasarımlarını oluşturabilmektedir. Ulusal AUS mimarisi, sistem tasarımcılarının çeşitli sistem hedeflerine ulaşmak için ortak verileri ve fonksiyonları kullanabilecekleri bir çerçeve oluşturmaktadır. Böylece sistemler, fazlalıktan kaçınarak verimli bir şekilde tasarlanabilmektedir. Ayrıca, her bir AUS teknolojisi birden çok fonksiyona hizmet edebildiğinden, bu ortak kaynak paylaşımı önemli maliyet tasarrufları sağlayabilmektedir.

Mimariye dayalı açık arayüz standartlarının geliştirilmesi, ürün ve hizmetlerin bir mimari arayüzde uyumlu olmasını sağlamada faydalı olmaktadır. Mimariye uyumlu sistem tasarımları, sistem satın alma, çalıştırma, bakım, geliştirme, bir üst seviyeye çıkarma ve genişletme maliyetlerini azaltmak için arayüz standartlarından yararlanabilmektedir. Bu sayede ulusal mimari, AUS sistem tasarımları ve uygulamaları için uzun vadede önemli faydalar sağlayabilmektedir (Hickman vd., 1996). AUS uygulama bağlamının genel bir görünümünü sunmayı amaçlayan AUS mimarisi; AUS hizmet, uygulama standartları ve ürünlerini doğru yer ve uygun rollere atamak için büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, ulusal bir AUS sistem mimarisi geliştirmek, bir ülkenin AUS vizyonunun somut bir kaydını ortaya koymaktadır. Özellikle sistem mimarisi oldukça yüksek bir seviyede tutulursa, tüm AUS geliştirmeleri için uygun bir referans oluşturmakta ve ülkenin inşa ederek sürdürmek istediği AUS yapısını düzenli olarak hatırlatmayı sağlamaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

AUS mimarisi, günümüzde endüstri 4.0 teknolojileri, mobil uygulamalar, artırılmış gerçeklik, nesnelerin interneti gibi son teknolojiler ile birlikte, insan odaklı, sürdürülebilir ulaşım sistemleri tasarlamak ve uygulamak amacıyla oluşturulmaktadır. AUS mimarisi oluşturularak trafik yönetim merkezi, toplu taşıma yönetim merkezi, acil durum yönetim merkezi gibi sistemi oluşturan bileşenlerin, verileri birbiri ile paylaşabilmek için oluşturdukları mantıksal ve fiziksel mimariler yardımıyla, sinyalizasyon sistemleri gibi uygulamalar vasıtasıyla kullanıcılara en iyi AUS hizmetini sunması hedeflenmektedir (Çapalı, 2022).

Ulusal AUS mimarisi, AUS'u planlamak, tanımlamak, uygulamak ve entegre etmek için ulusal bir çerçeve ortaya koyduğundan, Türkiye'deki ulusal ve bölgesel düzeylerdeki kilit paydaşlar için AUS hizmetlerinin nasıl olacağına dair ortak bir görüş sunmayı mümkün kılmaktadır.

Genellikle ulusal AUS mimarisine uygun olarak geliştirilen bölgesel AUS mimarisi de bir bölgede AUS teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması için çerçeve sunarak rehberlik etmektedir.

### **2.3. AUS mimarisi ulusal ve bölgesel uygulamaları**

Bölgesel ulaşım sorunlarına çözüm bulmada, AUS'un uygulanması için mimarinin rolü (Rodríguez vd., 1998) tarafından analiz edilmiştir. Çalışmada, rekabetçi bir bölge kavramı, değişen ekonomik çıkarları, paydaşları ve sınırları olan bir bölge ele alınarak bölgesel sistem mimarisi kavramı, koordineli bölgesel çözümlere ulaşmak için bir katalizör olarak tanıtılmıştır. Arjantin'in Mendoza eyaletinin, bölgesel bir ulaşım sistemini şekillendirmek için bir mimarinin kullanılmasına yönelik vaka çalışması olarak sunulan araştırma, AUS'un uygulanmasında ele alınması gereken temel konuların doğası gereği kurumsal olduğunu ve bir sistem mimarisinin, bölgesel koordinasyon bağlamında ulaşım iyileştirmelerini geliştirmek için stratejik bir araç haline gelebileceğini göstermiştir.

Kanada ulaşım endüstrisinden kamu ve özel sektör temsilcilerinden oluşan bir yönlendirme komitesinin rehberliğinde, Kanada AUS mimarisinin geliştirilmesine Ağustos 1999'da başlanmıştır. Genel olarak Kanada ulusal AUS mimarisi, ABD ulusal AUS mimarisini tümünü kapsamakta olup aynı zamanda yeni hizmetler sunmak, yeni kullanım alanlarını sağlamak, yeni ve farklı paydaşların varlığı ile ülkeler arasındaki farklılıkları yansıtmak için ABD mimarisini genişletmiş ve değiştirmiştir. Bu sebeple, iki

mimarinin teknik tanımları arasında pek çok ortak nokta bulunmaktadır. Kanada AUS mimarisinin gelişimi incelenerek ABD ile Kanada mimarileri arasındaki farklar (Borges vd., 2001) tarafından ortaya koyulmuştur. İlgili AUS mimarisi ve standartları girişimlerinin kapsamlı bir incelemesini inceleyen yazarlar tarafından AUS paydaş girdilerine dayanarak Kanada için geçerli kullanıcı hizmetleri, kullanıcı alt hizmetleri ve hizmet paketlerini tanımlayan bir ilk taslak AUS mimarisi çerçevesi geliştirilmiş ve AUS paydaşları tarafından yapılan incelemeden sonra revize edilmiştir. Bu AUS mimarisi çerçevesi, Kanada AUS mimarisinin hem fiziksel hem de mantıksal mimarilerinin tanımlarını geliştirmek için kullanılmıştır.

AUS'un emniyet açısından faydalarını değerlendirmek için Kanada AUS mimarisine dayalı bir çerçeve, (Vahidi & Sayed, 2003) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen çerçeve, Kanada AUS mimarisindeki hizmet paketleriyle eşlenen ve faydaların “neden” ve “sonuç” akışını yakalamak için birbiriyle ilişkilendirilen değerlendirme ölçütlerinin tanımlanmasını içermektedir. Geliştirilen çerçevenin Kanada AUS mimarisiyle tutarlı terminoloji kullanarak değerlendirmelerin yapılabilmesi için bir yapı sağlayarak gelecekteki AUS emniyet değerlendirmeleri için faydalı olması amaçlanmıştır.

Güney Kore hükümeti tarafından ilk versiyonu 1999 yılında yayınlanan ulusal AUS mimarisinin, AUS pazarındaki çevresel değişiklikleri ve AUS temel teknolojilerindeki ilerlemeleri karşılayabilmesi için revize edilmesi gerekmiştir. Güney Kore ulusal AUS mimarisinin mevcut versiyonu (Lee, 2009) tarafından değerlendirilmiş ve yeni bir ulusal AUS mimarisi için revizyon yönergeleri önerilmiştir. Mimari geliştirme için popüler iki metodoloji olan süreç odaklı ve nesne yönelimli yaklaşım gözden geçirilerek yeni mimari geliştirme için süreç odaklı yaklaşım seçilmiştir. Ulusal mimari kavramı daha sonra mevcut mimarinin değerlendirilmesine dayalı olarak yeniden tanımlanmış ve yeni ulusal AUS mimarisinin; AUS kullanıcı hizmetleri, mantıksal mimari, fiziksel mimari ve proje mimarisinden oluşması önerilmiştir. Yeni ulusal AUS mimarisinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bu çalışmayı, gerçek mimari geliştirme çabaları ve destekleyici politika eylemlerinin izlemesi gerektiği vurgulanmıştır.

Akıllı bir ulaşım sisteminin geliştirilmesinde en büyük faydayı, sistem kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılayan hizmetlerin sağlanmasına dayalı bölgesel bir yaklaşımla sağladığını vurgulayan (McGregor, 2003), bunu desteklemek için, ulusal mimari yönergelerini kullanarak orta ölçekli şehirler için bölgesel AUS mimarilerinin geliştirilmesine yönelik bir araştırma sunmuştur.

Pekin bölgesel AUS mimarisinin geliştirilmesinde kullanılan metodoloji (Chen vd., 2003) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, önce fonksiyonel ihtiyaçlar kapsamlı bir ankete dayalı olarak analiz edilmiş, ardından, fonksiyonel ihtiyaçlar, Çin'in ulusal AUS mimarisinde tanımlandığı ve gereksinim duyulduğu şekilde kullanıcı hizmetlerine eşlenmiştir. ABD'nin ulusal AUS mimarisinde kullanılan hizmet paketleri kavramı tanıtılmış ve uygulanmış, kullanıcı hizmetleri, hizmet paketlerine dönüştürülmüştür. Ardından, fiziksel varlıklardan oluşan fiziksel mimari ve mimari akışlar geliştirilmiştir.

Çin ulusal AUS mimarisinde elde edilen başarılar, AUS mimarisi geliştirme yaklaşımı, AUS kullanıcı hizmetlerinin güncellemesi ve AUS mimarisi geliştirmeyi desteklemek için özelleştirilmiş mimari yazılımı hakkında detaylı bilgi (Ke vd., 2005) tarafından paylaşılmıştır.

Mevcut ve planlanan AUS altyapısı, hizmetleri ve bilgi paylaşım düzenlemeleri hakkında bilgi toplamak için paydaşlarla yapılan görüşmelere dayalı olarak San Juan Büyükşehir Bölgesi için bölgesel bir AUS mimarisi geliştirme metodolojisi (Fernández González, 2006) tarafından sunulmuştur. Çalışmanın başlangıcında bölge, paydaş grubu ve belirlenen ihtiyaçlar tanımlanmış, ardından kullanıcı hizmetleri, operasyonel kavramlar ve fonksiyonel gereksinimler ortaya koyulmuştur. Ulusal AUS mimarisine dayalı bir bölgesel AUS mimarisi oluşturularak mimarinin planlama ve proje geliştirme açısından etkileri tartışılmıştır.

AUS mimarisinin pratikte seyrek kullanımı konusu (Belinova vd., 2011) tarafından ele alınmış, eksik kavramları ele almak için dünyadaki AUS mimarisine yönelik çeşitli yaklaşımlar incelenmiş ve Çek AUS mimarisinin bir araştırma konusundan gerçek dünya uygulamasına nasıl dönüştürülebileceğine dair öneri sunulmuştur. Dört farklı seviyeye dayandırılan öneride aşağıdaki adımlar yer almıştır:

1. AUS Forumu kurularak gerçekleştirilecek olan *Organizasyon*,
2. Nihai hedefi ortak çıkarlar bulmak olan *Tasarım*,

3. İlgili AUS uygulamaları için *Bilgi*,

4. Gerekli araçların geliştirilmesiyle basitleştirilecek olan *Uygulama*.

Bu adımların, Çek Cumhuriyeti’ni Avrupa çapında AUS hizmetlerine hazırlaması gerektiği belirtilmiştir.

Polonya’daki Yukarı Silezya Birleşik Bölgesi’ndeki AUS uygulamasının mevcut durumunun bir incelemesi (Karoń & Mikulski, 2012) tarafından sunulmuştur. Çalışmada, Yukarı Silezya Kentleşmesi için entegre AUS planlaması ve tasarımı ile şehir içi ulaşım sistemleri geliştirme planlaması için gerekli olan AUS mimarisinin hazırlanması ve uygulanması için bir metodoloji önerilmiştir. Söz konusu bölge için hem bireysel AUS sistemlerinin hem de tüm mimarilerinin uygulama sorunlarına ve engellere değinilmiştir.

Avustralya ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesindeki ilk adım olarak bağlam ve vizyon belgesi (Sweeney & Venz, 2014a) tarafından hazırlanmış ve belgede aşağıdaki konularda önerilere yer verilmiştir:

- Avustralya ulusal AUS mimarisi vizyonu,
- Diğer AUS mimarisi girişimlerinin Avustralya ulusal AUS mimarisinin gelişimini nasıl bilgilendirebileceği ve yönlendirebileceğini anlamaya yardımcı olan uluslararası AUS mimarisi bağlamı,
- Mimari geliştirme metodolojisi,
- Avustralya mimarisinin gelişiminin bu bağlamda nasıl devam etmesi gerektiği.

Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi sürecinde ise öncelikli olarak daha sonraki ayrıntılı mimari modellerin inşa edilebileceği iş ve kavramsal mimari platformu (Sweeney & Venz, 2014b) oluşturulmuştur. Önerilen AUS iş mimarisi ile ulaştırma kurumları ve AUS ile ilgili kuruluşların tutarlı bir yaklaşım ve terminoloji kullanarak AUS çözümlerini tanımlaması ve geliştirmesine izin verilmesi amaçlanmıştır. Avrupa AUS çerçeve mimarisi, Avustralya ulusal AUS mimarisinin temeli olarak benimsenerek iş mimarisi alanı, genellikle bir referans mimarisi olarak kabul edilmiştir. İş mimarisi; veri, uygulama ve teknoloji mimarilerinin geliştirilmesi için temel oluşturarak geliştirilecek ilk mimari alan olmuştur.

Gelişmekte olan bir ülkenin orta ölçekli bir şehirde hareketlilik hizmetlerinin tasarımı için bir geliştirme süreci önermek ve bir AUS mimarisini bu tür şehirlere uyarlamak için en iyi sürecin hangisi olduğunu belirlemek amacıyla referans AUS mimarileri (Salazar-Cabrera & Pachón de la Cruz, 2018) tarafından ele alınmıştır. Çalışmada, yazarlar Kolombiya’daki Popayán ara şehri için bir AUS mimarisi tasarlamış ve buna dayalı hizmetlerin planlamasını ve tasarımı yapmıştır. Mimariye dayalı olarak şehir için “Toplu taşıma araç takibi” ve “Trafik ölçümü” olmak üzere iki hareketlilik hizmetinin tasarımının detaylandırıldığı çalışmada, bir ara şehrin özel ortamının ve önceliklerinin, bir referans mimariden AUS mimarisi için seçilecek hizmetlerin belirlenmesine olanak tanıdığı gözlemlenmiştir.

#### 2.4. Diğer ilgili çalışmalar

AUS için gereksinim odaklı bir sistem tasarım yaklaşımı, (Masaki vd., 1996) tarafından önerilmiştir. Önerilen yöntemde temel gereksinimler belirlenmiş ve çeşitli dönüşüm süreçlerinden geçirilerek fiziksel bir mimariye dönüştürülmüştür. Belirli bir uygulama alanı için ortak bir metodoloji ortaya koyularak sistem tasarımının mantıklı bir şekilde ele alındığı bu çalışmada, AUS, uygulama alanı olarak seçilmiş ve vaka çalışmaları ile sistem tasarım yaklaşımları oluşturularak değerlendirilmiştir.

Ulusal AUS mimarisini, eyalet ve yerel ulaşım kurumları tarafından gerçek dünya uygulamalarına uyarlamak için bir çerçeve, (Chowdhury vd., 1998) tarafından sunulmuştur. Önerilen nesne yönelimli modelleme ve tasarım çerçevesi, herhangi bir kullanıcı hizmeti için üst düzey bir tasarım oluşturmak için aşağıdaki aşamaları içermektedir:

- Kullanıcı hizmetlerinin ve ilişkili işlevlerin tanımlanması,
- Fonksiyonel gereksinimlerin belirlenmesi ve bunların tasarım mimari bileşenleriyle ilişkilendirilmesi,
- Bileşen ilişkilerinin belirlenerek nesnelere ilişkilendirilmesi,
- Bileşen nesnelere için eyaletler açısından üst düzey davranışların tanımlanması,
- Kullanıcı hizmetlerinin üst düzey bir tasarımının geliştirilmesi.

ABD ulusal AUS mimarisini kullanarak talebe duyarlı transit operasyonlarını destekleyen bir prototip karar destek sistemi (KDS) geliştirilmesine yönelik araştırma (Smith, 1998) tarafından yürütülmüştür. Çalışma ile paratransit çizelgeleme için yaygın olarak kullanılan diğer yazılım paketlerine güvenmek yerine coğrafi bilgi sistemi içinde çalışacak rota sapma hizmeti için bir KDS geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1996 yılında ABD Federal Karayolu İdaresi, AUS için ulusal bir sistem mimarisi geliştirmeye yönelik bir programı tamamlamasının ardından (Hall & Thakker, 1998), çok taraflı projelere vurgu yaparak ulaşım yönetimi projelerinin uygulanmasını iyileştirmek için sistem mimarisinin kullanılabilmesi metodolojiler hakkında tavsiyeler sunmuştur. Kaliforniya’da görev ve sorumlulukların ve genel bir operasyon konseptinin oluşturulmasına yönelik tavsiyelerin yer aldığı raporda, model anlaşmaların ve politikaların geliştirilmesi, katılan tarafları kapsayan belirli bir anlaşmanın müzakere edilmesi ve söz konusu anlaşmanın pratikte uygulanmasını içeren üç aşamalı bir prosedürün benimsenmesi önerilmiştir.

KAREN (Keystone Architecture Required for European Networks-Avrupa Ağları için Temel Mimari) Projesi ile gerçekleştirilen Avrupa AUS çerçeve mimarisi kapsamında, Avrupa için kullanıcı ihtiyaçları seti, fonksiyonel bir mimari, fiziksel bir mimari ve bir haberleşme mimarisinin yanı sıra bir maliyet-fayda raporu geliştirildiğini belirten (Tierolf, 1999), yaşanan sorunlara ve gerekli standartlar hakkındaki raporlara değinmiştir. Ayrıca, çalışmada; uygulama senaryoları ve mimari bakım, Ar-Ge ve takip faaliyetlerine ilişkin tavsiyelerin ekleneceği, hangi etkilerin beklenebileceği, AUS topluluğu tarafından kullanım ve kabulün nasıl optimize edilebileceğinin açıklanacağı belirtilmiştir.

AUS geliştirme, planlama ve uygulamaya yönelik iş birlikçi yaklaşım (McQueen & McQueen, 1999) tarafından açıklanmıştır. Yazarlar, ulaşım camiasına, ulaşım ve sistem mühendisliği arasındaki boşluğu doldurmada yardımcı olmayı amaçlamış, paydaşların AUS geliştirme projelerini dikkate almalarının, hazırlamalarının ve etkin girdiler sunmalarının desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Demiryolu güvenliğini, verimliliğini ve hareketliliğini geliştirmek amacıyla demiryolu için AUS fonksiyonel mimari (B. Yang & Xie, 2000)’de önerilmiştir.

(Liu vd., 2005), AUS mimarilerinin geliştirilmesi için genel metodolojiyi tanıtarak AUS mimarisi geliştirme aracına duyulan ihtiyaca değinmiş, AUS mimarisi geliştirilmesi için Çin’de özel olarak tasarlanmış olan ITSA-CASS (Intelligent Transportation Systems Architecture-Chinese Academy of Social Sciences-AUS Mimarisi-Çin Sosyal Bilimler Akademisi) isimli yazılım aracını önererek bileşenlerini ve özelliklerini irdelemiştir. Önerilen yazılım aracı ile tüm AUS mimarisi geliştirme prosedürü basitleştirilerek standart hale getirilmiş, bu sayede, geliştiricilerin iş yükünün önemli ölçüde azaltılması, verimliliğin artırılması ve AUS mimarisinin eksiksiz ve tutarlı olması sağlanmıştır. AUS mimarisi geliştirme prosedürünün her adımını tek bir pakette entegre etmeye yönelik bu ilk girişimin, Çinli geliştirme ekiplerinin bu görevi etkili, kolay ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmelerine yardımcı olduğu vurgulanmıştır.

Avrupa Birliği projesi olan COOPERS (CO-OPERative SystEms for Intelligent Road Safety-Akıllı Yol Emniyeti İçin Kooperatif Sistemler)’ta örneklendiği gibi, FRAME yöntemi ve Avrupa AUS çerçeve mimarisi kullanılarak ortak sistemler için üst düzey bir mimarinin geliştirilmesi (Frotscher & Scheider, 2008) tarafından açıklanmıştır. Yazarlar, altyapıdan araca iletişime dayalı iş birlikçi sistemlerin, yalnızca daha yüksek yol güvenliği ve emniyeti ile sonuçlandığı belirtilen kriterleri artırma potansiyeline sahip olmadığını, aynı zamanda trafik yönetimini bir sonraki seviyeye taşıyan yeni uygulama ve hizmetleri mümkün kıldığını vurgulamışlardır. Bununla birlikte, AUS entegrasyonunun ilerlemesinin, büyük, homojen olmayan ortamlara yol açtığına, bu durumun Avrupa ülkeleri arasında yatırımın sürdürülebilirliğini ve uyumluluğunu sağlayan sağlam bir sistem mimarisine olan ihtiyacı artırdığına işaret edilmiştir. Yazarlar, kullanıcı ihtiyaçlarının ve ilgili fonksiyonel bakış açısının, paydaşlar, kullanıcı grupları ve ilgili projelerle işlevsellik ve gereksinimler hakkında objektif tartışmalara olanak sağlamak için değerli girdiler sağladığını, FRAME forumuna iletilecek olan yeni kullanıcı ihtiyaçları ve işlevsel unsurlarla sonuçlanacağını belirtmişlerdir.

Avrupa AUS çerçeve mimarisi ve ABD ulusal AUS mimarisi (Bélinová vd., 2010) tarafından karşılaştırılmış ve Avrupa’da AUS mimarisinin uygulanmasını desteklemek için gelişmeler ve devam eden faaliyetler tartışılmıştır.

Denizcilik sektöründe AUS mimarisinin gereksinimleri ve olası bir çözümün unsurları (Rødseth, 2011) tarafından araştırılmıştır. Bu mimarinin arkasındaki itici gücün, verimliliği artırmak, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve sektördeki güvenliği iyileştirmek için bilgi alışverişinde standartlar oluşturma ihtiyacından ve gemi taşımacılığının uluslararası doğasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Denizcilik sektöründe AUS mimarisinin geliştirilmesinde, eski sistemlerin, deniz taşımacılığının uluslararası doğasının, uluslararası mevzuat ve standartların yanı sıra, mevcut iletişim kanallarında oldukça değişken hizmet kalitesinin dikkate alınması gerektiğine işaret edilmiştir. Denizyolu uluslararası taşımacılığı hakkında geniş kapsamlı düzenlemelerin bulunduğu ve bir dereceye kadar standartlaşmanın sağlandığına değinilerek bir bilgi mimarisinin geliştirilmesinin gerektiği ve bu alanda belirlenen hedeflere ulaşmak için ulusal düzeyde olduğu kadar Avrupa Birliği ve Uluslararası Denizcilik Örgütü bünyesinde çalışmaların devam ettiği belirtilmiştir.

Nesnelerin İnterneti (IoT)'nin pratikte başarılı bir şekilde uygulandığı sektörlerden birinin de AUS olduğu görülmekte ve IoT aracılığıyla ülkelerde akıllı şehirler inşa edilmeye çalışılmaktadır. IoT'nin çalışma yasası ve mimarisinin analiz edildiği (Z. Yang vd., 2013)'de, yazarlar IoT üzerine kentsel AUS teorisi ve teknolojisi için talepleri ortaya koymuştur. Çalışmada, mevcut kentsel AUS mimarisi ile IoT'nin mimari özellikleri birleştirilerek IoT tabanlı kentsel AUS mimarisi oluşturulmuştur.

Açıklığı, yeniden kullanılabilirliği, ölçeklenebilirliği ve birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak için SOA (Service Oriented Architecture-Hizmet Odaklı Mimari) ve RM-ODP (Reference Model of Open Distributed Processing-Açık Dağıtık İşleme Referans Modeli) ilkelerini izleyen bir AUS mimarisinin tasarımı ve geliştirilmesi (Román vd., 2013) tarafından önerilmiştir. Sistem gereksinimleri dikkate alınarak standartların, teknolojilerin ve platformların rasyonel seçiminin yapıldığı çalışmada, tasarımdan nihai prototipe kadar artan aşamalarla yinelemeli bir çevik geliştirme süreci ve CORBA (Common Object Request Broker Architecture-Ortak Nesne İstek Aracısı Mimarisisi) yaklaşımı kullanılmıştır.

Gelişen AUS uygulamalarının yapısına ve bu gelişmeler için bir çerçeve sağlamada sistem mimarisinin oynadığı önemli role değinen (Miles, 2014), AUS'un ana ulaşım yönetiminin bir parçası olarak ortaya çıkmasında öncülük eden Japonya, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki AUS çalışmalarını ele almıştır. AUS'un temel özellikleri, AUS teknolojileri ve kullanıcı hizmetleri referans alınarak incelenmiştir. Çalışmada, farklı AUS mimarisi bakış açıları ve AUS standartlarının rolü açıklanmıştır.

Avrupa ve Amerika'daki araştırma projelerinde geliştirilen referans mimarilere genel bir bakış (Perallos vd., 2015) tarafından sunulmuş, fiziksel katmandan uygulama katmanına kadar mimarilerde sunulan katmanların her biri incelenerek teknolojik zorluklar ele alınmıştır.

Gelişmekte olan bir ülke için yol bakımı ve inşaat yönetimine odaklanan bir AUS mimarisi geliştirmek için (Saffari vd., 2018) tarafından bir metodoloji önerilmiştir. Önerilen metodoloji kapsamında süreç, bir dizi görüşme yoluyla paydaşların ihtiyaçlarının tanımlanmasıyla birleştirilen bir anket ve mevcut bilgilerin bir ofis çalışmasıyla başlamıştır. Daha sonra, en iyi modeli seçmek için mevcut AUS mimarilerinin çeşitli modelleri karşılaştırılmış, ardından, bir AUS mimarisi geliştirmek için Turbo mimari yazılımı kullanılmıştır. Bu süreç, İran'da ulusal düzeyde bir vaka çalışmasına uygulanmış ve geliştirilen AUS mimarisi, tüm mimari yapının ve hizmet paketlerinin iki seviyesinde de doğrulanmıştır.

Uygulama öncesi aşamada AUS mimarilerinin değerlendirilmesi için araçlar sağlamak üzere, mevcut yöntemlerin nasıl genişletilebileceği ve birleştirilebileceğinin yolları ve yaklaşımları (Fünfroeken vd., 2018) tarafından açıklanmıştır. Farklı araştırma projelerinde edinilen deneyimlere dayanarak değerlendirmenin teknik kısmına odaklanılan çalışmada, ilgili tarafların bir mimariyi halka sunmadan önce değerlendirmeleri amaçlanmıştır.

Mevcut K-AUS referans mimarileri ve uygulama sahaları mimarileri analiz edildikten sonra, C-MobILE K-AUS referans mimarisi, (Karkhanis vd., 2018) tarafından sunulmuştur. Seçilen K-AUS hizmetlerinin her birini kapsayan, karşılayan ve uygulama sahalarında kullanılabileceği değerlendirilen referans mimarinin, gelecekteki K-AUS uygulamaları, diğer şehirler veya bölgelerdeki uygulamalar için de bir temel oluşturabileceği belirtilmiş, mimari tanımlama sürecinde öğrenilen dersler paylaşılmıştır.

AUS alanındaki yeni gelişmeleri teşvik etmek için, Kolombiya'daki bir ara şehirde pilot proje aracılığıyla bir toplu taşıma aracı izleme hizmetinin uygulanabilirliğini kontrol etmek için bir kavram

kanıtı (Cabrera & de la Cruz, 2018) tarafından geliştirilmiştir. Hizmeti tasarlamak için ARC-IT'e dayalı, şehrin bağlamına uyarlanmış özel bir AUS mimarisi kullanılmış; tasarlanan hizmet, bir IoT platformu uygulama metodolojisi aracılığıyla geliştirilerek bir pilot uygulama aracılığıyla test edilmiştir. Geliştirilen hizmetin özelliklerinin ve pilot uygulama sonuçlarının sunulduğu çalışmada, AUS mimarisinin ve bir platform tasarım metodolojisinin kullanılmasının, bir şehirde hareketlilik hizmetlerinin geliştirilmesi için organize, yapılandırılmış bir süreci kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir.

Dört bileşenli AUS yazılım mimarisinin eski, popüler bir mimari olduğunu savunan (Graf von Malotky & Martens, 2019), bileşenlerinin kullanımını, adlandırılmasını ve yeni bileşenlerin eklenmesini gözden geçirmek için klasik AUS mimarisine ilişkin makalelerde bulunan 93 AUS yazılım mimarisini analiz etmiştir. Yazarlar, analizlerinde bu mimarilerde tekrar eden 13 sorunu tespit etmiş ve bu sorunların oluşumunu azaltarak iyileşme sağlamak için klasik AUS yazılım mimarisinde iki iyileştirme önerisi sunmuştur.

(Çapalı, 2022), dünyadaki AUS politikalarını analiz ederek kooperatif AUS'a zemin oluşturacak olan birlikte çalışabilirlik seviyesine ulaşan sistemler ile AUS mimarisi önerisi sunmuştur.

### 3. Dünyada AUS referans mimarileri ve gelişimleri

Dünyanın önde gelen gelişmiş ülkeleri, AUS sistem mimarilerinin geliştirilmesinde öncülük etmiştir. Bu alanda ABD, Avrupa Birliği ve Japonya başı çekmiş hem gelişmiş hem de gelişmekte olan diğer birçok ülke, bu ülkeler tarafından geliştirilen mimarilere dayalı olarak kendi ulusal AUS mimarilerini oluşturmuştur. Ayrıca, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)'nün, ITS (TC204) teknik komitesinde, AUS mimarisi üzerine bir çalışma grubu (WG1) bulunmaktadır (Yokota & Weiland, 2004).

Özellikle sınırlı kaynaklara sahip ülkelerin kendi AUS mimarisini sıfırdan geliştirmesi nadiren gereklidir. Mevcut bir mimariden başlamak ve onu adım adım ülkenin gereksinimlerine uyarlamak, genellikle daha hızlı ve daha az maliyetlidir (Yokota & Weiland, 2004). Ancak mevcut AUS mimarilerinin geliştirilme süreci iyi dokümanle edilmediği için AUS mimarisi geliştirmeye yönelik ayrıntılı süreç hakkında sınırlı literatür çalışması bulunmaktadır (Saffari vd., 2018). Literatür çalışmalarında AUS mimarilerinin genellikle ulusal veya bölgesel düzeyde oluşturulduğu gözlenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, literatürde yer alan bilgiler ışığında, dünyada öne çıkan AUS referans mimarileri ve gelişimleri hakkında özet bilgiler sunulmuştur.

#### 3.1. ABD AUS referans mimarisi: ARC-IT

ABD, Federal Karayolu İdaresi'nin öncülüğünde, ulusal, bölgesel ve yerel birlikte çalışabilirliği sağlamak için ortak bir yapı olarak hizmet verecek ulusal AUS mimarisini geliştirmeye, 1993 yılında başlamıştır. Standardizasyon için arayüzleri belirlemek amacıyla, ABD Ulaştırma Bakanlığı'nı, arayüzler ve AUS'u desteklemek için her arayüzün yerine getireceği gereksinimler hakkında bilgilendirmek üzere, fonksiyonel düzeyde bir sistem mimarisi gereksinimi duyulmuş ve bu gereksinim, ABD'de ulusal AUS mimarisi gelişiminin başlangıç noktası olmuştur.

ABD AUS mimarisinin rekabetçi bir şekilde geliştirilmesi için özel sektör danışmanlarından, üniversitelerden ve kamu kurumlarından oluşan dört ayrı çalışma ekibi oluşturmuştur. Her ekip kendi mimarisini ayrı ayrı geliştirerek birbirinden birçok yönden farklı dört mimari hazırlanmıştır. Ekiplerden çalışmalarını, yaklaşımlarının açıklandığı ve paydaşlardan katılım için yorumların toplandığı periyodik paydaş çalıştaylarında göstermeleri istenmiş ve dört mimari ABD Ulaştırma Bakanlığı tarafından değerlendirilerek iki mimari, ulusal AUS mimarisi olarak daha da geliştirilmek üzere seçilmiştir. Böylece, ABD'nin ilk ulusal AUS mimarisi 1996 yılında yayınlanmış ve ABD, dünyada ulusal AUS mimarisini yayımlayan ilk ülke olmuştur.

Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesinde paydaş katılımı, ABD Ulaştırma Bakanlığı için çok önemli olmuş, ABD'nin izlediği rekabetçi geliştirme yaklaşımı, paydaş katılımını ve görüşlerinin alınmasını mümkün kılan her fırsatı sağlamıştır. ABD ulusal AUS mimarisi; AUS'un uygulanması, standartların geliştirilmesi ve yeni ulaşım araştırma girişimleriyle güncellenmekte, paydaş geri bildirim ve fikir birliği yaklaşımı sürdürülmektedir. Ulusal AUS mimarisi ABD Ulaştırma Bakanlığı ile Iteris, Inc. firması arasındaki sözleşme kapsamında, 1996'dan bu yana sistem mühendisliği bakış açısıyla geliştirilmeye devam etmekte olup bugüne kadar sekiz temel güncelleme geçirmiştir. Bakanlık, ulusal



AUS mimarisinin kullanımını, bir AUS standartları geliştirme kılavuzu olarak önermekte ve özendirilmektedir. Mimari, paydaşlara kendi eyaletlerinde, bölgelerinde veya yerel ortamlarında AUS'u planlamak ve geliştirmek için bir referans sağlayarak AUS'un işlevsel bir temsilini sunmaktadır (Perallos vd., 2015).

AUS ile ilgili olarak orijinal ABD mevzuatında (İntermodal Kara Taşımacılığı Verimlilik Yasası'nın bir parçası, 1991) bir sistem mimarisinden söz edilmemesine rağmen, ABD AUS derneği olan AUS Amerika, AUS için bir sistem mimarisinin güçlü bir savunucusu olmuş ve bu çaba için federal destek oluşturulmasına katkı sunmuştur. İlk geliştirme çabalarının büyük bir kısmı, geniş bir paydaş yelpazesinden girdiler aramak üzerine yoğunlaşmıştır. AUS mevzuatının bir sonraki versiyonu, ABD AUS mimarisinin sürekli gelişimine ve kullanımına büyük önem vermiştir (Yokota & Weiland, 2004).

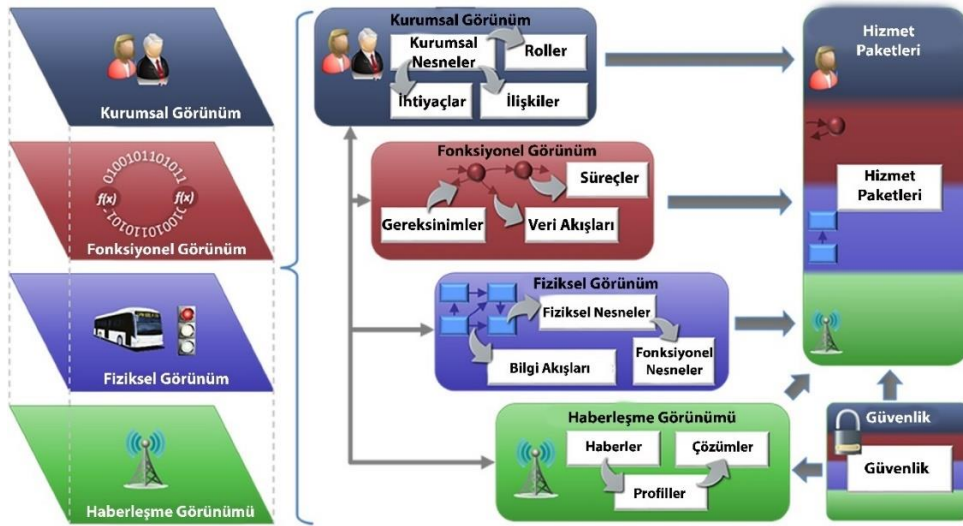
2005 yılında ABD, federal fon kullanarak AUS projelerinin uygulanmasını planlayan herhangi bir bölge için bir AUS mimarisinin (bölgesel AUS mimarisi) geliştirilmesini gerektiren bir yönetmelik çıkarmıştır. ABD bu düzenleme ile eyalet ve yerel kurumlar ile Büyükşehir Planlama Teşkilatlarını AUS projelerini mevcut entegrasyon fırsatlarını dikkate alacak şekilde planlayarak söz konusu entegrasyon fırsatlarının ilgili paydaşlar arasında uygun şekilde koordine edilmesini sağlamayı amaçlamıştır. Bu sayede, federal fonların daha verimli kullanılması ve AUS projelerinin daha başarılı bir şekilde uygulanmasının kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bölgesel AUS mimarileri, bölgenin AUS mimarisi ile ulusal AUS mimarisi arasındaki uyumu destekleyen bir referans olarak ulusal AUS mimarisinden geliştirilmiştir. Yönetmelik, aynı zamanda AUS standartlarına uygunluğu da şart koşmuştur. Aynı referans noktasını kullanan tüm AUS mimarileri sayesinde, ABD'de geliştirilen AUS projeleri, mevcut çözümleri genişleten ve bu uygulamalar için daha geniş bir tedarikçi tabanı oluşturan benzer arayüz tanımlarına ve standart referanslarına sahip olmaktadır (Perallos vd., 2015).

ABD ulusal AUS mimarisi, her biri bir dizi gereksinime, mantıksal bir mimariye ve standartların geliştirilmesine rehberlik eden bir fiziksel mimariye sahip kullanıcı hizmetleri paketlerinden oluşmaktadır. Ulaşım uygulayıcıları, sistem geliştiriciler, teknoloji uzmanları, danışmanlar gibi geniş bir AUS topluluğunun katkılarıyla geliştirilen ve artık ARC-IT olarak bilinen ABD ulusal AUS referans mimarisinin mevcut sürümü, "<https://www.arc-it.net/index.html>" adresinde yayınlanmaktadır.

ARC-IT, AUS'u sağlamak için ortak bir dil kullanarak sistemleri tasavvur etmek, tasarlamak ve uygulamak için farklı kaygılara sahip planlamacılar ve mühendisler için ortak bir temel sağlayan, ancak herhangi bir özel uygulamayı (yani donanım veya yazılımı) zorunlu kılmayan bir referans mimaridir. ARC-IT, çok çeşitli paydaşların kaygılarına yanıt veren özellikler içermekte, ulaşım planlamacıların, bölgesel mimarların ve sistem mühendislerinin bölgesel mimarileri tasarlaması, geliştirmesi ve projelerinin kapsamını belirleyip geliştirmelerini yapabilmeleri için tasarlanmış araçlar sağlamaktadır. ARC-IT'nin geliştirilmesi, "sistemler ve yazılım mühendisliği- mimari açıklama" için bir standart olan ISO/IEC/IEEE 42010:2011'e dayanmaktadır. Bu standart, yalnızca veri ve mesajları değil, aynı zamanda tüm ortamı tanımlama adımlarını içermekte, böylece paydaşların endişeleri giderilmektedir.

ABD ARC-IT ulusal AUS mimarisi modelinde, Şekil 3'te gösterilen dört görünüm bulunmaktadır (ARC-IT Architecture Overview, 2023):

1. AUS'u kurumsal bir bakış açısıyla ele alarak AUS'u planlayan, geliştiren, işleten, sürdüren ve kullanan kişi ve kuruluşları tanımlayan, paydaş rollerini ve ilişkilerini ortaya koyan Kurumsal Görünüm.
2. AUS'a fonksiyonel bir perspektiften bakan, süreçlerden ve veri akışlarından (fonksiyonlar arasındaki mantıksal etkileşimlerden) oluşan Fonksiyonel Görünüm.
3. AUS fonksiyonelliğini sağlayan sistemler ve cihazlar ile bunlar arasındaki iletişim bağlantılarını (fiziksel nesnelere arasındaki bağlantıları) tanımlayan Fiziksel Görünüm.
4. Fiziksel Görünümde fiziksel nesnelere arasında nasıl iletişim kurulduğunu (fiziksel nesnelere arasındaki veri alışverişini kolaylaştıran katmanlı protokolleri) tanımlayan Haberleşme Görünümü. Bilgilerin fiziksel nesnelere arasında nasıl güvenilir ve güvenli bir şekilde paylaşılabileceğini belirleyen iletişim çözümlerinde, birleştirilen haberleşme standartları ve profilleri tanımlanmaktadır.



Şekil 3. ABD AUS mimarisinin dört temel görünümü

Günümüzde güvenlik ile ilgili hususlar tüm alanlarda olduğu gibi AUS'ta da çok önemlidir. Bu nedenle, ARC-IT, güvenliği bütünsel olarak ele almakta ve dört görüşü de kapsayan güvenlik endişelerini adreslemektedir.

ARC-IT, yukarıdaki dört görünüme ek olarak “Hizmet Paketleri” isminde beşinci bir görünüm sunmaktadır. Hizmet paketleri, belirli bir AUS hizmeti için dört görünümü de kapsayan dikey bir ARC-IT dilimini görüntülemeyi kolaylaştıran hizmet odaklı bir giriş noktasıdır. Çoğu kullanıcı için hizmet paketleri, ARC-IT'nin en çok kullanılan giriş noktasıdır. Hizmet paketleri, trafik sinyali kontrolü gibi belirli hizmetleri ele alan fiziksel görünümün dilimlerini temsil etmektedir. Belirli bir AUS hizmetini ve diğer önemli harici sistemleri birbirine bağlayan bilgi akışlarını sunmak için birlikte çalışması gereken birçok farklı fiziksel nesneyi (sistemleri ve cihazları) ve bunların fonksiyonel nesnelerini bir araya toplamaktadır. Belirli bir AUS hizmetini uygulamak için gerekli olan fiziksel görünümün parçalarını tanımlamaktadır (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021).

Fonksiyonel Görünüm, Hizmet Paketlerinin içeriğinin sağlanabilmesi için ne yapılması gerektiğinden (“fonksiyonellik”) bahsederken, fiziksel ve haberleşme katmanları daha çok “fonksiyonelliğin”, en uygun iletişim ve diğer standartlar kullanılarak fiziksel varlıklar olarak nasıl gerçekleştirilebileceğiyle ilgilenmektedir. Tablo 1’de, ABD ulusal AUS mimarisi olan ARC-IT’de yer alan hizmet paketleri listelenmiştir.

Tablo 1. ABD mimarisi hizmet paketleri (ARC-IT Service Packages, 2023)

Gelişim Alanları	Kullanıcı Hizmetleri
1. Ticari Araç İşlemleri	Taşıyıcı İşlemleri ve Filo Yönetimi
	Yüklerin Yönetimi
	Elektronik Ön Gümrükleme
	Ticari Araç İdari Süreçleri
	Ticari Araçların Park Edilmesi
	Yük Sinyalizasyon Önceliği
	Yol Kenarı Ticari Araç Emniyeti
	Akıllı Yol Kenarı ve Sanal Hareket Halinde Tartım
	Yüke Özel Dinamik Seyahat Planlaması
	Yük Taşıyıcıları için Yol Hava Durumu Bilgisi
Yük Naklinin Optimizasyonu	
Tehlikeli Maddelerin Yönetimi	
Yol Kenarı Tehlikeli Madde Güvenliğinin Tespiti ve Azaltılması	
Ticari Araç Sürücü Güvenlik Kimlik Doğrulaması	
Filo ve Yük Güvenliği	

**Tablo 1.** ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	Elektronik Sürücü Kayıtları (uluslararası) Akıllı Erişim Programı (uluslararası) Akıllı Erişim Programı-Ağırlık İzleme (uluslararası) Akıllı Hız Uyumluluğu (uluslararası) Uluslararası Sınır Kaydı (uluslararası) Uluslararası Sınırlarda Elektronik Ön Gümrükleme Uluslararası Sınırların Koordinasyonu
2. Veri Yönetimi	AUS Veri Ambarı Performans İzleme
3. Yapım ve Bakım	Yapım ve Bakım Araç ve Teçhizatlarının Takibi Yol Yapım ve Bakım Araçlarının Bakımı Karayoluna Otomatik Kaplama Yapılması Kış Sezonu Bakımı Karayolunun Yapım ve Bakımı Çalışma Alanı Yönetimi Çalışma Alanı Emniyetinin İzlenmesi Yapım ve Bakım Faaliyetlerinin Koordinasyonu Altyapının İzlenmesi Varlık Takibi Yapım ve Bakım Sinyal Önceliklendirmesi
4. Otopark Yönetimi	Otopark Yerlerinin Yönetimi Akıllı “Park Et - Devam Et” Sistemi Elektronik Otopark Ücreti Ödeme Bölgesel Parklanma Yönetimi Otopark için Rezervasyon Yükleme Alanı Yönetimi
5. Kamu Emniyeti	Acil Durum Arama Karşılama ve Yönlendirme Acil Durumlara Müdahale Acil Durum Aracı Geçiş Önceliği Acil Durum Bildirimi Araçtaki Acil Duruma Müdahale Olay Yerine Varış Öncesinde Acil Duruma Müdahale Edenler İçin Rehberlik Olay Yerinde Emniyetin İzlenmesi Karayolu Emniyet Devriyesi Ulaştırma Altyapısının Korunması Geniş Alan Uyarısı Erken Uyarı Sistemi Felaket Durumunda Müdahale ve Kurtarma Tahliye ve Yeniden Girişlerin Yönetimi Felaket Durumunda Yolcuların Bilgilendirilmesi Çalıntı Araçların Kurtarılması
6. Toplu Taşıma	Toplu Taşıma Aracı Takibi Sabit-Rotalı Toplu Taşıma İşlemi Dinamik Toplu Taşıma İşlemleri Toplu Taşıma Ücret Toplama Yönetimi Toplu Taşıma Güvenliği Toplu Taşıma Filosunun Yönetimi Toplu Taşımada Yolcu Sayımı Toplu Taşıma Yolcularının Bilgilendirilmesi Toplu Taşıma Araçları İçin Trafikte Geçiş Önceliği Ayrılmış Otobüs Şeritleri Toplu Taşımada Yaya İşaretleri

**Tablo 1.** ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	<p>Toplu Taşıma Aracının Durakta ve Durma İşaretlerindeki Davranışı</p> <p>Toplu Taşıma Aracının Önünden Bir Aracın Sağa Dönmesi</p> <p>Çok Modlu Ulaşımın Koordinasyonu</p> <p>Toplu Taşımada Durdurma Talebi</p> <p>Görme Engelliler için Güzergâh No</p> <p>Toplu Taşımada Bağlantıların Korunması</p> <p>Çok Modlu Entegre Elektronik Ödeme Sistemi</p>
7. Destek Hizmetleri	<p>Bağlantılı Araç Sisteminin Yönetimi ve İzlenmesi</p> <p>Temel Kimlik Yönetimi</p> <p>Verinin Dağıtılması</p> <p>Haritaların Yönetimi</p> <p>Konum ve Zaman</p> <p>Nesnelerin Kaydedilmesi ve Keşfi</p> <p>AUS Haberleşmesi</p> <p>Güvenlik ve Kimlik Bilgileri Yönetimi</p> <p>Cihaz Sertifikasyonu ve Kaydı</p> <p>Merkez Bakımı</p> <p>Saha Teçhizatının Bakımı</p> <p>Araç Bakımı</p> <p>Şahsi Cihaz Bakımı</p> <p>Uzaktan Erişim</p>
8. Sürdürülebilir Ulaşım	<p>Emisyonun İzlenmesi</p> <p>Çevreci Trafik Sinyali Zamanlaması</p> <p>Çevreci Trafik Ölçümü</p> <p>Yol Kenarlarının Aydınlatılması</p> <p>Elektrikli Şarj İstasyonlarının Yönetimi</p> <p>Öncelikli Şeritlerin Yönetimi</p> <p>Çevre Dostu Şerit Yönetimi</p> <p>Sinyalize Kavşaklarda Çevre Dostu Yaklaşma ve Ayrılma</p> <p>Bağlantılı Çevreci Sürüş</p> <p>Düşük Emisyon Bölgesinin Yönetimi</p>
9. Trafik Yönetimi	<p>Altyapı Esaslı Trafik İzleme</p> <p>Araç Esaslı Trafik İzleme</p> <p>Trafik Sinyalizasyon Kontrolü</p> <p>Bağlantılı Araçlar Trafik Sinyalizasyon Sistemi</p> <p>Trafik Ölçümü</p> <p>Trafik Bilgisinin Yayılması</p> <p>Bölgesel Trafik Yönetimi</p> <p>Trafik Olayları Yönetim Sistemi</p> <p>Entegre Karar Destek ve Talep Yönetimi</p> <p>Elektronik Ücret Toplama</p> <p>Yol Kullanımının Faturalandırılması</p> <p>Dinamik Karayolu Uyarıları</p> <p>Standart Demiryolu Hemzemin Kavşağı</p> <p>Gelişmiş Demiryolu Hemzemin Kavşağı</p> <p>Demiryolu İşlemlerinin Koordinasyonu</p> <p>Tersinir Şeritlerin Yönetimi</p> <p>Hız Uyarıları ve Kuralların Yönetimi</p> <p>Açılır-Kapanır Köprülerin Yönetimi</p> <p>Karayolu Kapatma Yönetimi</p> <p>Hız Uyumlaştırma</p> <p>Dinamik Şerit Yönetimi ve Emniyet Şeridinin Kullanımı</p>

**Tablo 1.** ABD mimarisi hizmet paketleri (devamı)

	Değişken Hız Sınırları Sınır Yönetimi Sistemleri Tünellerin Yönetimi (uluslararası) Hatalı Yönde Giden Araçların Tespiti ve Uyarılması Trafik İşareti Kurallarının Uygulanması
10. Yolcu Bilgilendirme	Yolcu Bilgilerinin Yayınlanması Kişiselleşmiş Yolcu Bilgisi Dinamik Güzergâh Rehberliği Altyapı-Tarafından Sunulan Güzergâh Rehberliği Seyahat Hizmetleri Bilgi ve Rezervasyon Dinamik Araç Paylaşımı ve Paylaşımlı Kullanım ile Ulaşım Araç İçi Bilgilendirme Ekranları
11. Araç Emniyeti	Otonom Araç Emniyet Sistemleri Araç-Araç Temel Emniyeti Durumsal Farkındalık Araç-Araç Özel Araç Alarmı Viraj Hızı Uyarısı Durma İşareti Mesafe Yardımı Hava Durumuna Bağlı Sürücü Alarmı ve Uyarısı Kuyruk Uyarısı Düşük Hız Bölgesi / Şerit Kapama Uyarısı Kısıtlı Şerit Uyarıları Geniş Araç Uyarıları Yaya ve Bisikletçi Emniyeti Kavşak Emniyeti Uyarısı ve Çarpışmadan Kaçınma Kooperatif ve Adaptif Hız Sabitleme Altyapı ile İyileştirilmiş Kooperatif ve Adaptif Hız Kontrolü Otonom Araç İşlemleri Trafik Kodlarının Yayılması
12. Hava Durumu	Hava Durumu Verisinin Toplanması Hava Durumu Bilgisinin İşlenmesi ve Dağıtımı Anlık Hava Etkisi Uyarısı Karayolu Mikro-Tahminleme (uluslararası)

Başlangıçta ABD AUS mimarisi üzerindeki çalışmalar çoğunlukla izole bir şekilde yapılmıştır. Ancak son yıllarda, özellikle K-AUS'un ortaya çıkmasıyla birlikte, AB-ABD Görev Gücü (Task Force) içerisindeki Uyumlaştırma Görev Grubu 7 (Harmonization Task Group 7- HTG7) tarafından teknik standartlar için uyumlaştırılmış referans mimarisi HARTS (Harmonized Architecture Reference for Technical Standards) çerçevesinde yapılan geliştirme çalışmalarının çoğu, artık Avrupa Birliği ile iş birliği içinde olmaktadır. K-AUS'un geliştirilmesi ve uygulanmasında ABD ve Avrupa arasındaki iş birliğini teşvik etmek için kurulmuş olan HARTS'a, şu anda Avustralya'dan temsilcilerin dahil olduğu görülmekte ve hem Japonya hem de Kore'den temsilciler tarafından yakından takip edilmektedir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021; HARTS, 2017).

### 3.2. Avrupa AUS çerçeve mimarisi: FRAME mimarisi

FRAME mimarisi, başlangıçta Avrupa AUS çerçeve mimarisi olarak adlandırılarak Bakanlar Kurulu kararıyla desteklenen, ulaşım telematiği üzerine üst düzey grubun tavsiyelerinin bir sonucu olarak geliştirilmiştir. Ekim 2000'de, Avrupa Komisyonu tarafından fonlanan KAREN Projesi kapsamında Avrupa AUS çerçeve mimarisinin ilk versiyonu oluşturularak yayınlamıştır. Bu girişim, AUS uygulamalarının esas olarak karayolu tabanlı planlanması amacı doğrultusunda sistematik bir temel oluşturmaya, birden fazla sistem uygulandığında bunların entegrasyonunu kolaylaştırmaya ve Avrupa sınırları boyunca birlikte çalışabilirliği sağlamaya yardımcı bir çerçeve ortaya koyarak AUS'un Avrupa'da uygulanmasını teşvik etmeyi amaçlamıştır (FRAME Architecture, 2023).

FRAME mimarisi, AUS'un Avrupa Birliği üye devletlerinde gelişimini ve yaygınlaştırılmasını desteklemek, sistem entegrasyonunu kolaylaştırarak birlikte çalışabilirliği teşvik etmek, üreticilerin bağımlılık durumlarından kaçınarak fonksiyonellik, ara yüzler ve veri modelleri gibi kavramlarda standardizasyonu sağlamaları amacıyla oluşturulmuştur (Perallos vd., 2015). KAREN Projesi ile başlayan FRAME mimarisi geliştirme çabaları, 2001-2005 yılları arasında FRAME-NET ve FRAME-S projeleri, 2008-2011 yılları arasında E-FRAME Projesi (Bodur, 2013) ve 2017-2021 yılları arasında ise FRAME NEXT Projesi (FRAME NEXT, 2021) ile desteklenerek devam etmiştir.

Avrupa Birliği'nin yayınladığı (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010)'te trafik ve yük yönetimi AUS hizmetlerinin sürekliliği öncelik alanı altında "*Avrupa Birliği AUS çerçeve mimarisini geliştirmek için gerekli önlemlerin tanımlanmasını, Üye Devletlerin ve onların yetkili makamlarının özel sektörle iş birliği içinde olduğu, ulusal, bölgesel veya yerel düzeyde kendi AUS mimarilerini geliştirebilecekleri, örneğin çok modlu birlikte çalışabilir biletleme de dahil olmak üzere, AUS ile ilgili birlikte çalışabilirlik, hizmetlerin sürekliliği ve çok modluluk yönlerini ele almaktadır*" ifadesine yer verilmiştir. Aynı öncelik alanı altında, kentsel AUS mimarisi ile Avrupa AUS mimarisi arasında birlikte çalışabilirliği ve uyumluluğu sağlamak için gerekli arayüzlerin tanımının dayandığı hususlar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Toplu taşıma, seyahat planlaması, ulaşım talebi, trafik ve park verileri ile kent kontrol merkezleri ve hizmet sağlayıcılara sunulan verilerin mevcudiyeti,
- Toplu ulaşım veya özel ulaşım için farklı kentsel kontrol merkezleri ve hizmet sağlayıcıları arasında ve tüm olası ulaşım modları aracılığıyla elektronik veri alışverişinin kolaylaştırılması,
- İlgili tüm verilerin ve bilgilerin tek bir mimaride entegre olması.

Aracın ulaşım altyapısına bağlanması önceliği altında ise altyapı sistemleri ve tesisleri ile birlikte çalışabilirlik/ara bağlantı için gerekli işlevsellikleri ve arayüzleri tanımlayan açık-sistem mimarisinin tanımlanması, mimarinin benimsenmesi için bir standardizasyon sürecinin ve araç-içi açık spesifikasyonların kullanılması, K-AUS kapsamında ise ilgili mimarileri benimsemek için standardizasyon süreçlerinin kullanılması yer almıştır.

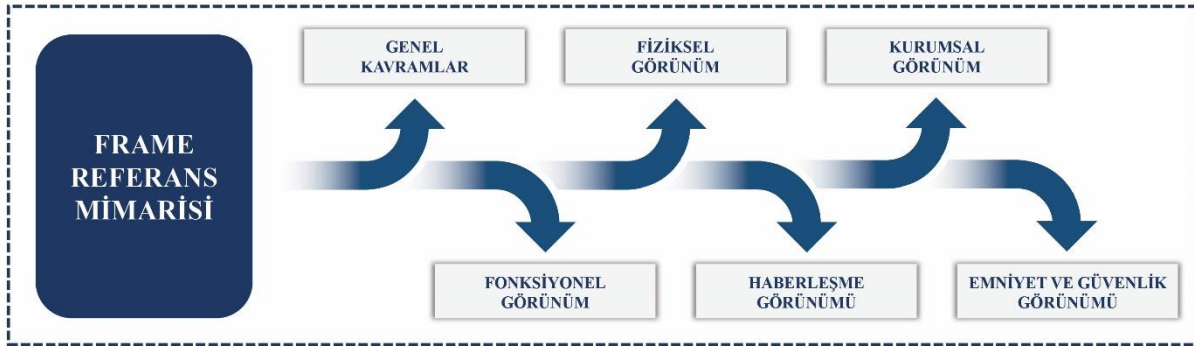
FRAME mimarisinin güncellendiği son proje olan FRAME NEXT kapsamında, (2010/40/EU Sayılı Direktif, 2010)'in öncelikli alanları için bazı referans sistem mimarileri geliştirilmiştir. Örneğin Ulusal Erişim Noktası, e-Call ve AUS hizmetlerine yönelik sistem mimarisi geliştirilmesi için bir meta model ve genel bir araç kutusu geliştirilmiştir.

FRAME mimarisi, Avrupa Birliği'nde herhangi bir yerde uygulanması değerlendirilen neredeyse tüm AUS uygulamaları ve hizmetleri için en üst düzey gereksinimleri ve fonksiyonelliği (Kullanım Senaryolarını) içermektedir. Tüm AUS mimarları tarafından referans olarak kullanılacak bir düzeyde olup, gerekli olacak diğer mimari türlerinin inşasına temel oluşturması amaçlanmaktadır. FRAME mimarisi ile sınır ötesi yolculara kesintisiz hizmetler sunulabilmesi ve uyumlu bileşenlerden oluşan açık bir Avrupa pazarı kurulabilmesi için diğer sistemlerin ara yüzlerinde uyumluluğu garanti etmelerini sağlaması öngörülmektedir (FRAME Architecture, 2023).

FRAME mimarisinin ayırt edici bir özelliği, kendisinden oluşturulan alt kümelere sahip olacak şekilde tasarlanmış olması ve bu nedenle bütünüyle kullanılmasının pek mümkün olmamasıdır. Bazı durumlarda, bir hizmeti gerçekleştirmenin birden fazla yolunu içermektedir ve kullanıcı, hizmeti o ortamda sunmak için en uygun fonksiyonellik setini seçebilmektedir. Bu nedenle, FRAME mimarisi, entegre AUS'un belirli modellerinin sistematik ve ortak bir şekilde oluşturulabileceği bir çerçeve olarak entegre bir AUS modeli değildir (FRAME Architecture, 2023). FRAME mimarisi, hizmet veya sistem mimarilerinin dayandırılabilmesi için ulusal veya bölgesel AUS mimarisinin temeli olarak veya belirli bir AUS hizmeti uygulamasını desteklemek için doğrudan alt küme mimarileri oluşturmak için kullanılabilir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021).

FRAME, Avrupa ülkeleri ve ülkeler içindeki bölgelerin kendi özel ihtiyaçlarına göre hazırlanmış kendi AUS mimarilerini oluşturmalarına yardımcı olacak bir çerçeve veya plan olarak da değerlendirilmektedir. Bu, ABD ulusal AUS mimarisinin temel fonksiyonel kullanımının, bölgesel mimarilerin gelişimine rehberlik etmek olduğu ABD'deki deneyime benzerdir (Yokota & Weiland, 2004).

Hızlı teknolojik ilerlemeler ve V2X (Araç-Her şey) iletişimine dayalı iş birlikçi sistemlere artan ilgi, mevcut mimarilerde yer almayan yeni gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Bu durum, bağlantılı araçlar ve yol altyapılarının ortaya koyduğu ihtiyaçları karşılamak için FRAME mimarisinin genişletilmiş bir versiyonu ve tamamlayıcı standardizasyon süreçleriyle sonuçlanmıştır (Perallos vd., 2015). Avrupa Birliği tarafından fonlanan ve 2021 yılı sonunda sona eren FRAME NEXT Projesi kapsamında, Avrupa'daki farklı üye devletlerin faaliyetleriyle, 2010/40 sayılı AB AUS direktifiyle ilgili öncelikli alanlarla ve modern bir AUS mimarisini, kullanıcıları için çekici kılan metodolojiler ve araçlarla, Avrupa AUS çerçeve mimarisi genişletilmiş ve güncellenmiştir (FRAME NEXT, 2021). Sistem mimarisi geliştirme çerçevelerinden TOGAF (The Open Group Architecture Framework-Açık Grup Mimari Çerçevesi) ve FRAME metodolojileri arasında çok sayıda benzerlik olduğu görüldüğünden, FRAME NEXT projesi kapsamında, iki metodolojinin entegre edilmesine ve “Enterprise Architect” yazılım aracının kullanımına dayalı genişletilmiş bir metodoloji üretilmesine karar verilmiştir. Sonuç olarak FRAME mimarisi, genel kavramlar (paydaş isteklerinin daha resmi bir versiyonu), emniyet ve güvenlik görünümleri ile birlikte, fiziksel, kurumsal ve haberleşme görünümlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Ayrıca kullanıcı ihtiyaçları, fonksiyonel görünümün bir parçası olarak dahil edilmiştir. FRAME mimarisinin yeni genişletilmiş içeriği (Bossom, 2021) Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. FRAME referans mimari diyagramı

Kullanıcıların ihtiyaçları ve FRAME mimarisinde bu konuda tanımlanan ihtiyaçlar envanteri, tüm mimari çalışmalarının giriş noktasını oluşturmaktadır. Kullanıcı ihtiyaçlarının netleşmesinin ardından, AUS hizmetlerini uygulamak için gereken fonksiyonellik, kullanıcılarına herhangi bir spesifik teknik çözüm empoze etmeyen Fonksiyonel Görünüm tarafından sağlanmaktadır. Her özel uygulama, özellikle AUS uygulaması için hangi bileşenlerin kullanılacağı ve bunlar arasındaki bağlantıların belirlenmesi için paydaşlar tarafından seçimler yapılmasını gerektirmekte ve Fiziksel Görünüm tarafından ele alınmaktadır. Mimarideki fonksiyonel ve fiziksel görünümlerin olgunlaşması sonrasında, bileşenler arasındaki iletişim gereksinimleri, haberleşme protokolleri ve standartları, Haberleşme Görünümü tarafından tanımlanmaktadır. Hizmetlerin doğru bir şekilde sağlanabilmesi, düzenlemelerin uygulamaya geçirilebilmesi için doğru yönetim yapısının oluşturulması, her bileşenin ve diğer organizasyonel konuların sahibi, yöneticisi ve işletmecisi gibi hususlar, Kurumsal Görünüm tarafından adreslenmektedir. Kurumsal Görünüm de diğer görünümlerin bir sonucu olarak ortaya çıkmakta ve ilgili kurum, kuruluş ve aktörler ile bunların üstlendikleri rolleri tanımlamaktadır (FRAME Architecture, 2023). Güvenlik ve Emniyet Görünümü de fiziksel ve haberleşme unsurlarıyla ilişkili olan diğer görünümdür. FRAME NEXT projesi ile güncellenen FRAME mimarisine ilişkin güncel bilgiler ve detaylar “<https://frame-online.eu/>” internet adresinde yer almakta olup ana hatlarıyla aşağıdaki unsurları içermektedir:

- AUS hizmetlerinin hayata geçmesinde yeri bulunan paydaşlar ve rolleri,
- Paydaşların belirttikleri AUS sistemlerine dair hizmetlerle ilgili beklentileri,
- AUS mimarisinin giriş noktası olan kullanıcı ihtiyaçları,
- Donanım, yazılım, haberleşme altyapısı ve dokümantasyonların spesifikasyonlarında ve hazırlanmasında rol alacak aktörler,
- Aktörleri ve ilişkilerini içeren bir Kurumsal Görünüm,
- Standartları da içeren bir Haberleşme Görünümü,
- Emniyet ve Güvenlik Görünümü,

- Bütün model ve öğeleri içerecek bir “Genel Kavramlar” havuzu.

FRAME mimarisi, Avrupa Birliği’nde kullanılmak üzere tasarlanmıştır, ancak hizmette yerellik ilkelerine uygundur. Bu nedenle üye devletler için herhangi bir fiziksel veya organizasyonel yapıyı zorunlu kılmamaktadır. Sadece AUS’un neler sağlayabileceğini açıklayan bir dizi kullanıcı ihtiyaçlarını ve bunun nasıl yapılabileceğini gösteren bir Fonksiyonel Görünümü içermektedir. Bilgisayar tabanlı araçlar tarafından desteklenen metodoloji, FRAME mimarisi Fonksiyonel Görünümünün mantıksal olarak tutarlı alt kümelerinin oluşturulmasına ve ardından Fiziksel Görünümlerin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. FRAME mimarisi, yol tabanlı AUS uygulamalarını ve hizmetlerini modellemekte ve Tablo 2’de listelenen dokuz fonksiyonel alana ayrılmaktadır (FRAME Architecture, 2023).

**Tablo 2.** FRAME mimarisi fonksiyonel alanları

### Fonksiyonel Alanlar

1. Elektronik ücret hizmetleri sağlama
2. Emniyet ve acil durum hizmetlerinin sağlanması; araç içi ile yol kenarındaki “e-Call” ve acil servis müdahalelerinin yönetimi
3. Trafik yönetimi; kent içi, şehirler arası, otopark, tüneller ve köprüler, bakım ve simülasyon ile birlikte olay yönetimi, karayolu araç kaynaklı çevresel kirlilik ve yol kullanım talebi
4. Toplu taşıma işlemleri yönetimi; tarifeler, ücretler, isteğe bağlı hizmetler, filo ve sürücü yönetimi
5. Gelişmiş sürüş destek sistemleri sağlama; kooperatif sistemlerin parçası olan bazı araç içi hizmetler için destek
6. Yolcu seyahat desteği sağlama; yolculuk öncesinde ve yolculuk sırasında planlama, seyahat bilgileri
7. Kolluk kuvvetlerine destek sağlama
8. Yük ve filo işlemleri yönetimi
9. Kooperatif sistemler için destek sağlama; otobüs şeridi kullanımı, yük taşıtı park etme gibi başka bir yerde olmayan belirli hizmetler

### 3.3. Asya AUS mimarisi

Bu bölümde, Asya ülkelerinde AUS mimari çalışmalarına uzun zaman önce başlamış Japonya ve Güney Kore’nin AUS mimarileri özetlenmiştir.

#### 3.3.1. Japonya

Japonya’nın en az iki ulusal AUS mimarisi geliştirdiği bilinmektedir. Japonya’nın ilk AUS mimarisi, ulusal AUS derneği olan AUS Japonya ile iş birliği içinde, AUS’ta yer alan beş bakanlığın ortak çabalarıyla 1999 yılında tamamlanmıştır. İlk ulusal AUS mimarisinin içeriğinin bir bölümünün ABD ulusal AUS mimarisinden etkilendiği tahmin edilmektedir. Diğer birçok AUS mimarisinin aksine UML (Unified Modeling Language-Birleşik Modelleme Dili) ile yazılmıştır, ancak ayrıntıların çoğu gizli kalmıştır. Bu mimari, AUS’un Japonya’daki bölgesel uygulamalarında kullanılmıştır (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Japonya’nın AUS mimarisi, aşağıdaki listelenen temel amaçları teşvik etmektedir (Yokota & Weiland, 2004):

- Entegre bir akıllı ulaşım sisteminin verimli yapısını oluşturmak,
- Bakımı yapılabilir ve genişletilebilir bir akıllı ulaşım sistemi kurmak,
- Yerli ve uluslararası AUS standartları geliştirmek.

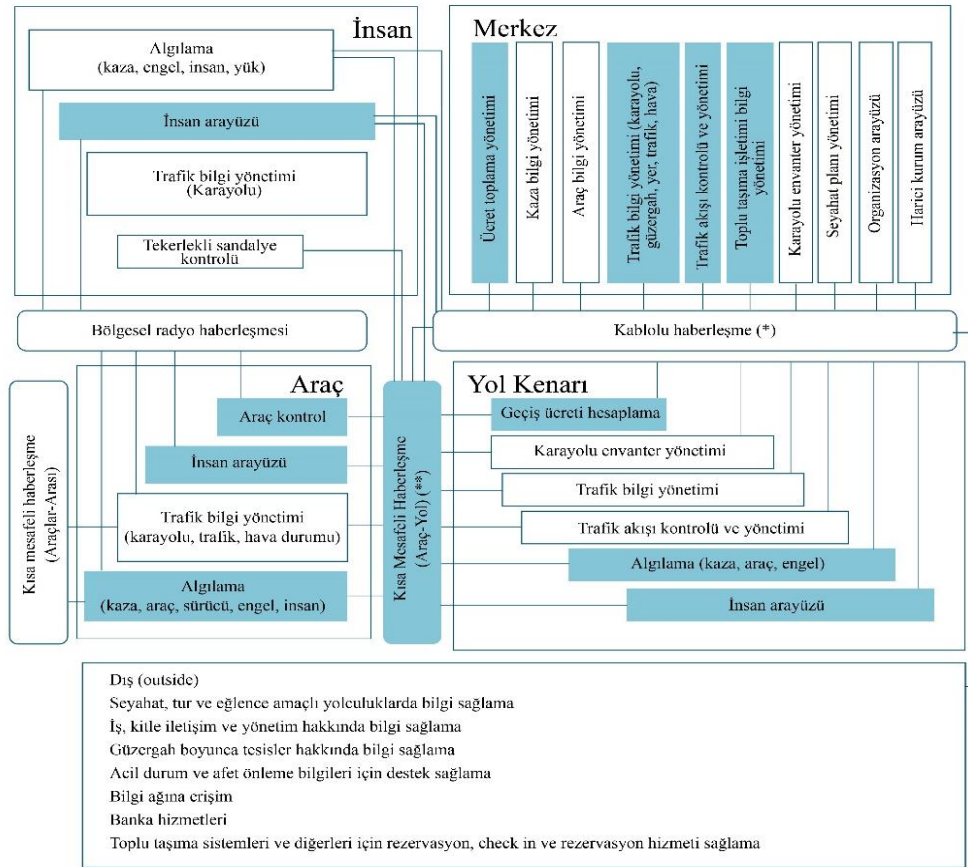
Japonya AUS mimarisinin gelişimine iki ilke rehberlik etmiştir:

- Mimarinin değişen sosyal ihtiyaçları ve gelişen teknolojiyi esnek bir şekilde karşılayabilmesi,
- Japonya’nın gelişmiş bilgi ve telekomünikasyon ortamının diğer bölümleriyle birlikte çalışabilir ve birbirine bağlanabilir bir AUS tesis edilmesini mimarinin garanti etmesi.

Diğer büyük ulusal AUS sistem mimarileri gibi, Japonya AUS mimarisi de kullanıcı hizmetlerinin bir listesini, mantıksal bir mimariyi, fiziksel bir mimariyi ve AUS standartlarını oluşturmaya yönelik alanları içermektedir (Yokota & Weiland, 2004). Literatür çalışmalarında, Japonya ulusal AUS



mimarisinde, haberleşme ve kurumsal mimarinin detaylarına yönelik herhangi bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. (ITS Handbook Japan 2002-2003, 2002) çalışmasından uyarlanan; insan, merkez, araç ve yol kenarı bileşenlerinden oluşan Japonya AUS mimarisinin fiziksel bileşenleri ile alt sistem bağlantı şeması Şekil 5'te gösterilmiştir.



(\*)Kablo haberleşme genel olarak bölgesel kablo haberleşme anlamına gelir. Ancak duruma göre uydu haberleşmesi veya diğer bölgesel radyo haberleşmeleri onun yerine kullanılabilir.

(\*\*)Kısa-mesafe (araç-yol) haberleşme; yol kenarı ve araç ya da insan arasındaki kısa mesafe haberleşmedir.

**Şekil 5.** Japonya fiziksel AUS mimarisinden alt sistem bağlantı şeması

Japonya AUS mimarisinde, kullanıcı hizmetleri, gelişim alanları şeklinde kategorize edilmiş ve her bir kullanıcı hizmeti için “Belirli kullanıcı hizmeti (Specific User Service)” ve “Belirli kullanıcı alt-hizmeti (Specific User Sub-service)” alanları belirlenmiştir. Japonya AUS mimarisinde yer alan gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri (MLIT, 2012), Tablo 3’te sınıflandırılmıştır.

**Tablo 3.** Japonya AUS mimarisi gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri

Gelişim Alanları	Kullanıcı Hizmetleri
1. Navigasyon sistemlerindeki gelişmeler	Güzergâh trafik bilgilerinin sağlanması Varış bilgilerinin sağlanması
2. Elektronik ücret toplama sistemleri	Elektronik ücret toplama
3. Emniyetli sürüş için yardım	Sürüş ve yol durumu bilgilerinin sağlanması Tehlike uyarısı Sürüş destek Otonom otoyol sistemleri
4. Trafik yönetimi optimizasyonu	Trafik optimizasyonu Kaza durumunda trafik kısıtlama bilgilerinin sağlanması

**Tablo 3.** Japonya AUS mimarisi gelişim alanları ve kullanıcı hizmetleri (devamı)

5. Yol yönetiminde verimliliğin artırılması	Bakım işlemlerinin iyileştirilmesi Özel olarak izin verilen ticari araçların yönetimi Karayolu tehlike bilgilerinin sağlanması
6. Toplu taşımanın desteklenmesi	Toplu taşıma bilgilerinin sağlanması Toplu taşıma işletimi ve yönetimi için yardım
7. Ticari araç işletiminde verimliliğin artırılması	Ticari araç işlemleri yönetimi için yardım Ticari araçların kümeleştirilmesi
8. Yaya desteği	Yaya rota rehberi Araç-yaya kazalarından kaçınma Acil durum araç işlemlerinin desteklenmesi
9. Acil durum araç işlemlerinin desteklenmesi	Acil durum araçları için rota rehberliği ve imdat faaliyetleri için destek
10. Tanımlı değil	Gelişmiş bilgi ve telekomünikasyon toplumunda gelişmiş bilgidен yararlanmayı mümkün kılma

Japonya'nın ikinci AUS mimarisi ise Avrupa AUS çerçeve mimarisine dayanmaktadır ve Japonya Evrensel Trafik Yönetimi Derneği tarafından üretilmiştir, ancak halen kullanılıp kullanılmadığı bilinmemektedir (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Bu nedenle, Japonya AUS referans sistem mimarisi geliştirildiği dönemde örnek gösterilen mimarilerden birisi olmasına rağmen, açık kaynak erişilebilen güncel AUS mimarisi geliştirme çalışmaları bulunmamaktadır.

### 3.3.2. Güney Kore

Paydaşların AUS sistemlerini bağlantılı olmadan uyguladığı durumlarda, genel AUS kurulumları ve ulusal düzeydeki işlemler, verimsiz ve birlikte çalışabilirlikten yoksun olduğundan, tutarlı ve organize AUS uygulaması için tüm çerçeveyi sağlamak üzere Güney Kore hükümeti tarafından ulusal AUS mimarisi oluşturulmasına ihtiyaç duyulmuştur (MOLIT, n.d.). Hükümet, ulusal AUS mimarisinin ilk versiyonunu, Güney Kore tarafından yayımlanan Ulusal Ulaşım Sistemi Verimliliği Kanunu ile 1999 yılında yayınlamış ve bunu AUS planlama, tasarım ve standardizasyon çerçevesi olarak kullanmıştır (Lee, 2009; MOLIT, 2016). Mimari, her kullanıcı hizmeti için fonksiyonelliği ve uyumluluğu sağlamak için ana gövdeyi yapılandırarak ulusal düzeyde genel çerçeveyi sağlayan bir plan (MOLIT, n.d.) olarak değerlendirilmiştir.

AUS mimarisinin kullanıcılar tarafından farklı yorumlanması nedeniyle Güney Kore ulusal AUS mimarisinin ikinci sürümü için 2010 yılında güncelleme planları yayınlanmış ve ABD AUS mimarisine bazı benzerlikler görülmüştür (Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities, 2021). Bu versiyonda kurumlar arası anlaşmazlıkları ortadan kaldırmak ve yasal düzeyde yaşanabilecek sorunları engellemek amacıyla proje çerçevesi katmanı eklenmiştir. Geliştirilen yeni AUS mimarisinde, aşağıda kısaca özetlenen üç temel esas dikkate alınmıştır (MOLIT, n.d.):

1. Birlikte Çalışabilirliğin ve Uyumluluğun Sağlanması: Bilgi bağlantısı için kullanılacak nesnelere ve izlenecek yöntemlerin tanımlanması, birlikte çalışabilirlik için standardizasyon çerçevesinin belirlenmesi,
2. AUS Planlama ve Tasarımının Desteklenmesi: AUS hizmetlerinin detaylı tanımlanması (uygulama birimi tarafından kurulmuş ve işletilen sistemlerin fiziksel bileşenlerinin sağlanması), bağlantı kurulacak ve bilgi paylaşılacak sistemlerin tanımlanması,
3. Mükerrer Yatırımların Önlenmesi ve Gerekli Tüm Hizmetlerin Tanımlanması: Bağlantılı bilgiler için paylaşılan unsurların tanımlanması ve ilgili kurumlar arasında rollerin ve kooperatif ilişkinin tanımlanması.

Güney Kore ulusal AUS mimarisi, aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır (Chang, 2017):

1. Hizmet: Akıllı ulaşım sistemlerinin ulusal planında tanımlanan hizmet tanımı doğrultusunda, kullanıcı bakış açısıyla sistem tarafından sağlanan hizmetleri tanımlamaktadır.

2. Mantıksal Mimari: Birim hizmet uygulaması için fonksiyonları ve veri akışını tanımlamaktadır. Fonksiyon tanımları, fonksiyonlar arasındaki veri akışı tanımları, veri akışı özellikleri ve veri akış şemalarından oluşmaktadır.
3. Fiziksel Mimari: Birim hizmet uygulaması için mantıksal mimaride tanımlanan fonksiyon, fiziksel bileşene atanmakta ve veri akışından fiziksel bileşene bilgi akışı tanımlanmaktadır. Fiziksel bileşenler arasındaki bilgi akışının ortamını ve iletişim sistemini tanımlamaktadır.
4. İş Mimarisi: Hizmet sunumu için kurulacak ve işletilecek birimleri (sistemleri) tanımlamakta, yasaları, sistemleri, proje uygulama çerçevelerini ve yönetim alanlarını düzenlemektedir. Bilgi akışından sistemler arasındaki bilgi bağlantısı (mesaj akışı) türetilerek mimari akış şeması olarak gösterilmektedir. Mimari akış şeması üzerinde ilgili AUS standartları belirtilerek AUS standartlarıyla ilişkilendirme sağlanmaktadır. Birim hizmetler, iş uygulama çerçeveleri ve yönetim alanları arasındaki işlevsel ve fiziksel bileşenlerin paylaşım derecesi incelenerek iş birimi (sistem inşası, operasyon birimi) oluşturulmaktadır.

Güney Kore hükümeti kurumsal yapısı tarafından oluşturulan AUS mimari uygulamaları genel olarak aşağıdaki yedi grupta toplanmıştır (Berdyorova, 2022):

1. Trafik akışı, olay ve otomatik trafik yönetimi sistemlerine ilişkin uygulamaların yer aldığı gelişmiş trafik yönetim hizmeti (Advanced Traffic Management Services-ATMS),
2. Taşıma bilgi sistemi ve toplu taşıma yönetim sistemini içeren gelişmiş toplu taşıma hizmeti (Advanced Public Transport Service-APTS),
3. Temel bilgi taşıma ve trafik bilgi yönetimi koordinasyon sistemlerinin oluşturduğu gelişmiş trafik bilgi hizmeti (Advanced Traffic Information Service-ATIS),
4. Elektronik ödeme sistemi ve elektronik biletleri içerir elektronik ücret toplama hizmeti (Electronic Toll Collection Service-ETCS),
5. Araç içi ve araç dışı yolcu bilgilendirme sistemleri grubunun oluşturduğu gelişmiş bilgi hizmeti (Advanced Information Service AIS),
6. Lojistik bilgi yönetim ve tehlikeli madde araç yönetim sistemlerinden oluşan ticari taşımacılık operasyonları (Commercial Transport Operations-CTO),
7. Güvenli sürüş destek ve otomatik sürüş destek sistemlerine ilişkin uygulamaların oluşturduğu gelişmiş araç ve otoyol hizmeti (Advanced Vehicle and Highway Service-AVHS).

Birlikte çalışabilirlik ve uyumluluğu sağlama temellerine dayanan Güney Kore ulusal AUS mimarisinde, hizmetler detaylı olarak tanımlanmıştır. Yedi ana kategori altında sınıflandırılan Güney Kore AUS mimarisinde yer alan AUS hizmet kategorileri (MOLIT, n.d.), Tablo 4'te listelenerek Şekil 6'da şematik olarak gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Güney Kore AUS mimarisi hizmet kategorileri ve kullanıcı hizmetleri

<b>Hizmet Kategorileri</b>	<b>Kullanıcı Hizmetleri</b>
1. Trafik Yönetimi	Trafik kontrolü ve trafik bilgisi sağlama Trafik olaylarını yönetme Elektronik denetleme sistemi Gerçek zamanlı adaptif sinyal kontrolü
2. Toplu Taşıma	Otobüs işletme yönetimi Otobüs öncelikli yollar Metrobüs (Bus Rapid Transit-BRT) sistemi
3. Trafik Bilgi Merkezi	AUS entegrasyonu ve yönetimi Gerçek zamanlı trafik durumu izleme Trafik bilgisi sağlama Trafik bilgisini ilgili merkezlere aktarma/paylaşma

**Tablo 4.** Güney Kore AUS mimarisi hizmet kategorileri ve kullanıcı hizmetleri (devamı)

4. Elektronik Ücret Ödeme	Hi-Pass (ETCS) Otomatik ücret toplama (Automatic Fare Collection, AFC)
5. Akıllı Araç & Yol	K-AUS Otonom sürüş
6. Ticari Araç İşlemleri	Nakliye araçlarının yönetimi Tehlikeli madde taşıyan araçların yönetimi
7. Yolcu Bilgilendirme	Araç navigasyonu

**Şekil 6.** Güney Kore AUS mimarisi AUS hizmet kategorileri

### 3.4. ISO AUS referans mimarisi

Sistem mimarisi, ilgili herkesin hizmetler ve sistemler hakkında ortak bir anlayışa sahip olmasını sağlamada ve sistemlerin genişletilebilirliğini, birlikte çalışabilirliğini ve uyumluluğunu garanti etmede önemli bir rol oynadığından, ISO AUS referans mimarisi (ISO 14813 serisi), gelişen mimarilerde referans olmak ve farklı ülkelerdeki mimarileri karşılaştırmak amacıyla bir model olarak oluşturulmuştur. Teknolojik gelişmelerden kaynaklanan yeni hizmetleri ve sistemleri ele almak için sürekli bakım gerektiğinden, periyodik AUS hizmetlerini belirleyen Bölüm 1'in gözden geçirilmesi, her bir çalışma grubunun (WG) iş birliği ile yürütülmektedir. Kalan kısımlar da periyodik incelemeden yararlanarak, açıklama dilleri ve 14817 serisindeki revizyonlar doğrultusunda sırayla revize edilmekte veya kaldırılmaktadır. WG 1, AUS sektöründe paylaşılan terminoloji, veri temsil formatlarının standartlaştırılması, hizmet ve sistem kavramlarının paylaşılması için mimariler ve ayrıca risk değerlendirme yöntemleri ve hizmetlerin faydaları dahil olmak üzere ortak bilgi ve yöntemler için standartlar geliştirmektedir (JSAE, 2022).

ISO AUS referans mimarisinde yer alan hizmet alanları ve hizmet gruplamaları, Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** ISO AUS mimarisi hizmet alanları ve hizmet gruplamaları (Yokota & Weiland, 2004)

<b>Hizmet Alanları</b>	<b>Hizmet Gruplamaları</b>
1. Yolcu bilgileri	1.1 Seyahat öncesi bilgiler 1.2 Seyahat bilgileri 1.3 Seyahat hizmetleri bilgileri 1.4 Güzergâh rehberi ve seyahat öncesi navigasyon 1.5 Güzergâh rehberi ve yolculukta navigasyon 1.6 Seyahat planlama desteği
2. Trafik yönetimi ve işlemleri	2.1 Trafik kontrolü 2.2 Ulaşım ile ilgili olay yönetimi 2.3 Talep yönetimi 2.4 Ulaşım altyapısı bakım yönetimi
3. Araç	3.1 Ulaşım ile ilgili görüş geliştirme 3.2 Otonom araç kullanımı 3.3 Çarpışmadan kaçınma 3.4 Emniyet hazırlığı 3.5 Çarpışma öncesi kısıtlamanın devreye alınması
4. Yük taşımacılığı	4.1 Ticari araç ön izni 4.2 Ticari araç idari işlemleri 4.3 Otomatik yol kenarı emniyet denetimi 4.4 Ticari araçta emniyet izleme 4.5 Yük taşımacılığı filo yönetimi 4.6 Modlar arası bilgi yönetimi 4.7 İntermodal merkezlerin yönetimi ve kontrolü 4.8 Tehlikeli yük yönetimi
5. Toplu taşıma	5.1 Toplu taşıma yönetimi 5.2 Talebe duyarlı ve paylaşımlı toplu taşıma
6. Acil durum	6.1 Ulaşım ile ilgili acil durum bildirim ve kişisel güvenlik 6.2 Acil durum aracı yönetimi 6.3 Tehlikeli maddeler ve olay bildirim
7. Ulaşım ile ilgili elektronik ödeme	7.1 Ulaşım ile ilgili elektronik mali işlemler 7.2 Ulaşım ile ilgili elektronik ödeme hizmetlerinin entegrasyonu
8. Karayolu taşımacılığı ile ilgili kişisel emniyet	8.1 Kamu seyahat güvenliği 8.2 Savunmasız yol kullanıcıları için emniyet geliştirmeleri 8.3 Engelli yol kullanıcıları için emniyet geliştirmeleri 8.4 Akıllı kavşaklar ve Bağlantılar
9. Hava ve çevre koşullarının izlenmesi	9.1 Hava durumu izleme 9.2 Çevre koşullarının izlenmesi
10. Afet müdahale yönetimi ve koordinasyonu	10.1 Afet veri yönetimi 10.2 Afet müdahale yönetimi 10.3 Acil durum kurumlarıyla koordinasyon
11. Ulusal güvenlik	11.1 Şüpheli araçların izlenmesi ve kontrolü 11.2 Hizmet veya boru hattı izleme

### 3.5. AUS mimarisi platformları ve geliştirme araçları

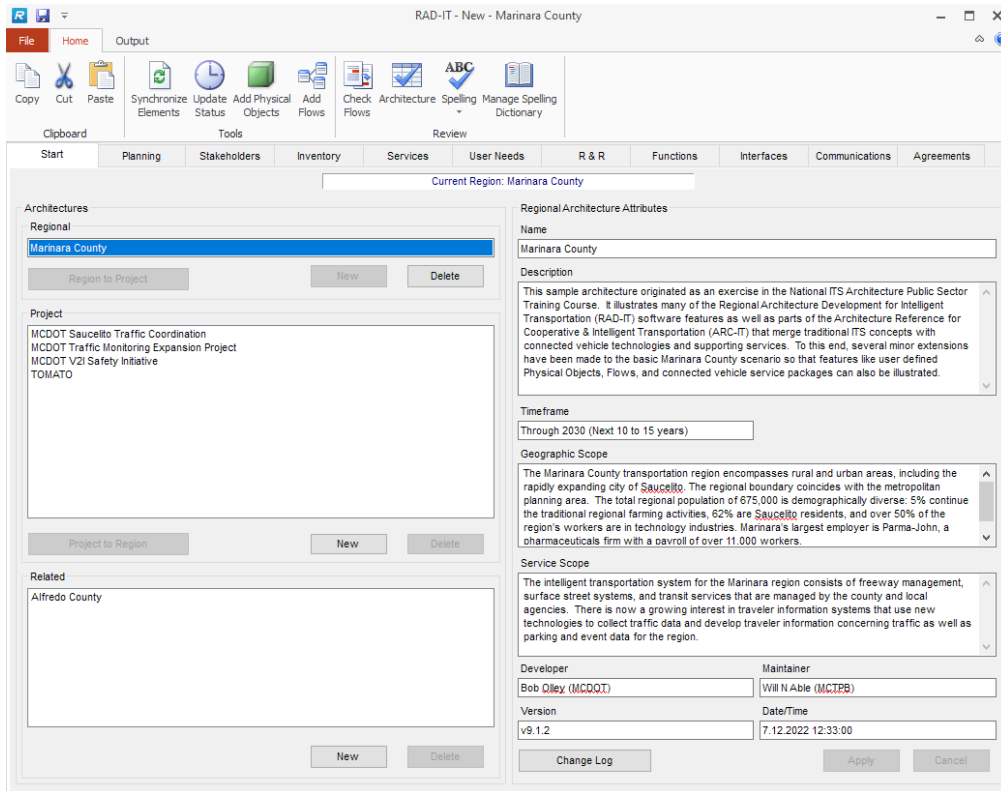
AUS mimarisinin geliştirilmesinde prosedürlerin standartlaştırılması, mimarinin çeşitli geliştirme ekiplerinin katılımını gerektiren doğal karmaşıklığı nedeniyle elzemdir (Liu vd., 2005). Bu nedenle, literatürde ulusal AUS mimarilerini oluşturmak için ülkelerin yazılım araçları geliştirdikleri ve kullandıkları gözlenmektedir. Aşağıdaki bölümlerde, ABD ulusal AUS mimarisinin ve FRAME mimarisinin geliştirilmesinde kullanılan platformlar ve geliştirme araçları hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.5.1. ARC-IT

ARC-IT, ABD'nin AUS mimarisinin bilgi paylaşım platformu ve aynı zamanda referans mimarisi olup "<https://www.arc-it.net/index.html>" adresinden erişilebilen ARC-IT internet sitesinde hem AUS mimarisinin görünümü açıklanmış hem mimarinin öğeleri ayrıntılı olarak tanımlanmış hem de mimari yazılımlarının indirilmesi ve öğrenilmesi için gerekli olan bilgiler ve bağlantılar paylaşılmıştır. Açık, anlaşılır ve güçlü bir internet platformuna sahip olan ARC-IT, bölgesel mimarilerin hazırlanması ve projelerin yürütülmesinde kullanılan RAD-IT (The Regional Architecture Development for Intelligent Transportation-Akıllı Ulaşım İçin Bölgesel Mimari Geliştirme) ve SET-IT (The Systems Engineering Tool for Intelligent Transportation-Akıllı Ulaşım İçin Sistem Mühendisliği Aracı) adlı masaüstü yazılımlarını da içermektedir. Bu araçlar, bölgesel ve proje mimarlarının ARC-IT içeriğini yönetmesini ve bölgeleri ve projeleri için sistem mühendisliği faaliyetlerinde bulunmalarını sağlamaktadır.

#### 3.5.2. RAD-IT

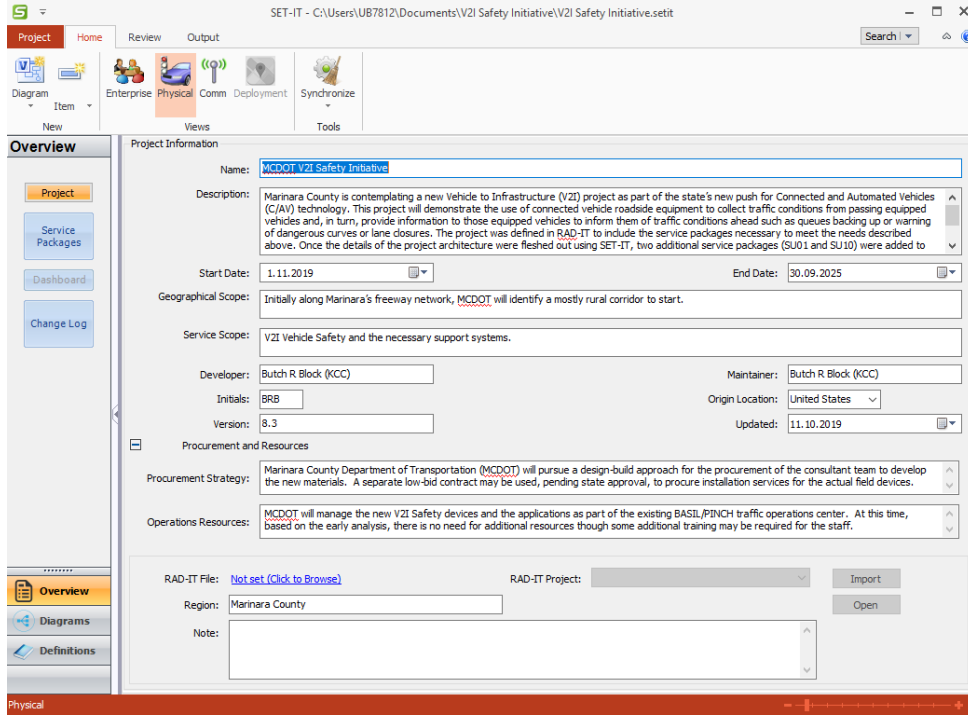
RAD-IT, başlangıç noktası olarak ARC-IT kullanılarak bölgesel ve proje AUS mimarilerinin geliştirilmesini destekleyen bir yazılım uygulamasıdır. RAD-IT hem kamu hem de özel sektördeki ulaşım planlamacılarına ve sistem entegratörlerine yardımcı olmaktadır. RAD-IT, bölgesel planlamaya ve İşlem Kavramlarının (Operation Concepts) geliştirilmesine, üst düzey kurumsal ve fiziksel görüşlere odaklanmaktadır. Paydaş topluluğunun, bölgede sağlanan ve planlanan AUS hizmetlerinin anlaşılmasını gerektirmektedir. Kullanıcıya, seçtiği hizmet paketlerinin her biri için önceden yapılandırılmış bir fiziksel görünüme erişim sağlanmakta ve bunlar daha sonra, seçilen hizmet paketleri için temel olarak AUS mimarisi olan tek bir görünümde birleştirilmektedir (ARC-IT RAD-IT, 2023). RAD-IT yazılım aracından örnek bir görüntü, Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. RAD-IT yazılımından örnek bir görüntü

### 3.5.3. SET-IT

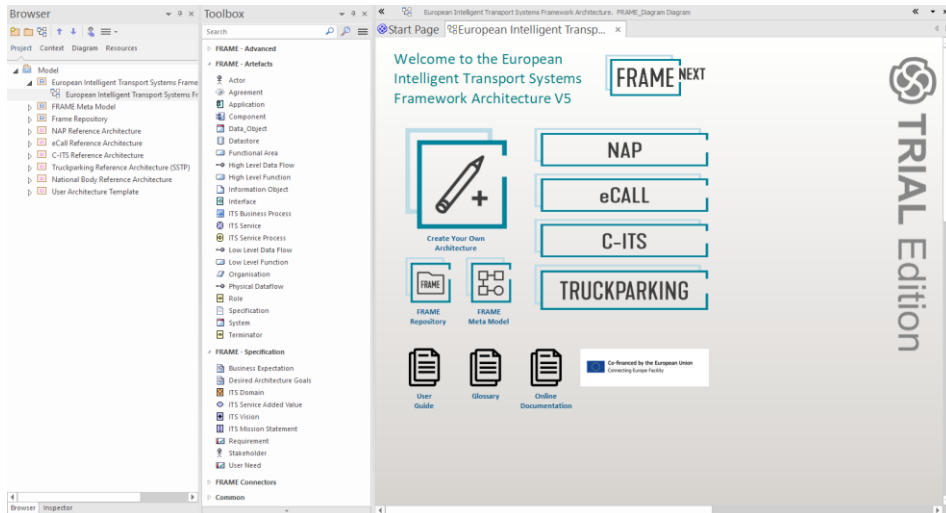
SET-IT, çizim ve veri tabanı araçlarını ARC-IT ile entegre eden tek bir yazılım aracı sağlamaktadır; böylece kullanıcılar, pilotlar, test ortamları ve erken uygulamalar için proje mimarileri geliştirebilmektedir. SET-IT, proje odaklıdır ve kapsamı bölgesel mimaride belirtilen proje tanımlarıyla sınırlandırılmış bireysel projeler için ideal olarak uygulanmaktadır. SET-IT, kullanıcıya görsel geri bildirim sunmak, hizmet paketi fiziksel ve kurumsal diyagramlarını işlemek, haberleşme yığını şablonları geliştirmek, tüm protokol katmanlarında standartları belirlemek ve bu bilgileri çeşitli form ve formatlarda dışa aktarmak için gerekli araçları sağlayan grafiksel bir araçtır (ARC-IT SET-IT, 2023). RAD-IT yazılım aracından örnek bir görüntü, Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. SET-IT yazılım aracından örnek bir görüntü

### 3.5.4. Kurumsal mimari (Enterprise Architect)

FRAME mimarisine uygun mimari modellerinin geliştirilmesi amacıyla ticari bir ürün olan Enterprise Architect isimli yazılım kullanılmaktadır. FRAME NEXT projesi kapsamında, mimarinin 5.1.1 sürümü için modeller hazırlanmış ve bu yazılımı kullananların hizmetine sunulmuştur (FRAME Architecture, 2023). FRAME mimarisi geliştirme aracından örnek bir görüntü, Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. FRAME mimarisi geliştirme aracından örnek bir görüntü

FRAME mimarisinde, bir mimarinin geliştirilmesi, AUS hizmetinin kavramsal tanımıyla başlamaktadır. Ana hizmetler tanımlandıktan sonra bunlar mevcut kullanıcı ihtiyaçları kümesi içinden uygun görülenlerle eşleştirilmektedir. Kullanıcı ihtiyaçları belirlendikten sonra, bunlara karşılık gelen fonksiyonlar ve veri akışları, Enterprise Architect yazılımı üzerinde tanımlanmakta, ardından fonksiyonel mimariyi daha ayrıntılı hale getirmek için sonlandırıcılar ve veri depoları belirlenmektedir. Fiziksel katmanın modellenmesine geçilmesi, bu aşamadan sonra olmaktadır. İlgili bileşenler ve modüller tasarlandıktan sonra, Fonksiyonel görünümde tanımlanan fonksiyonlar ve veri depoları fiziksel bileşenlere atanmaktadır. Bunun akabinde fiziksel veri akışları tanımlanmakta ve ara yüzlerin tanımlanmasıyla fiziksel katman tamamlanmaktadır. Tüm bu süreçler, kurumsal mimari (Enterprise Architect) yazılımı kullanılarak yürütülebilmektedir.

#### 4. Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması

Türkiye’de AUS’a ilişkin görev ve sorumluluklar, “*Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri, ulusal ölçekte uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek, eylem planlarını hazırlamak ve izlemek, yenilikçi akıllı ulaşım sistemleri projeleri geliştirmek, kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri, gerçek ve tüzel kişilerce akıllı ulaşım sistemleri kapsamında üretilen verilerin kullanılmasını ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla veri yönetim merkezi kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettirmek, bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek*” (Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi, 2018) hükmü ile T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB)’na verilmiştir.

##### 4.1. Mevcut durum

Türkiye’de AUS’un politika belgelerine girmesi ilk kez e-Türkiye Girişimi I. Ara Raporu ile başlamış, Türkiye katkısı ve e-Türkiye girişimi bölümlerinde internet kullanımının özendirilmesi başlığı altında, “akıllı ulaşım sistemlerinin oluşturulması” şeklinde ifade edilmiştir (T.C. Başbakanlık, 2002). Akabinde pek çok politika belgesinde, etkili, verimli ve emniyetli bir ulaşım ağının sağlanması için yenilikçi ve güçlü bir alternatif olarak yer almıştır. AUS, ulaşım kaynaklı birçok sorunun çözümü için yeni altyapı inşa etmenin yerine, ulaşım ağlarının doğru planlanması, işletilmesi ve yönetilmesi prensibine dayanarak kaynakların etkin kullanımında da uygun bir tercih olarak değerlendirilmiştir.

AUS alanını doğrudan ilgilendiren ilk strateji ve politika belgeleri ise UAB tarafından hazırlanmıştır. Bu alanda yol haritası olma özelliği taşıyan ilk belge 2014 yılında (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014), ikincisi ise 2020 yılında (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020) yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Talih & Tektaş, 2023). AUS mimarisinin bahsinin geçtiği politika belgeleri ve çalışmalar, Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Türkiye politika belgelerinde ve çalışmalarda AUS mimarisi

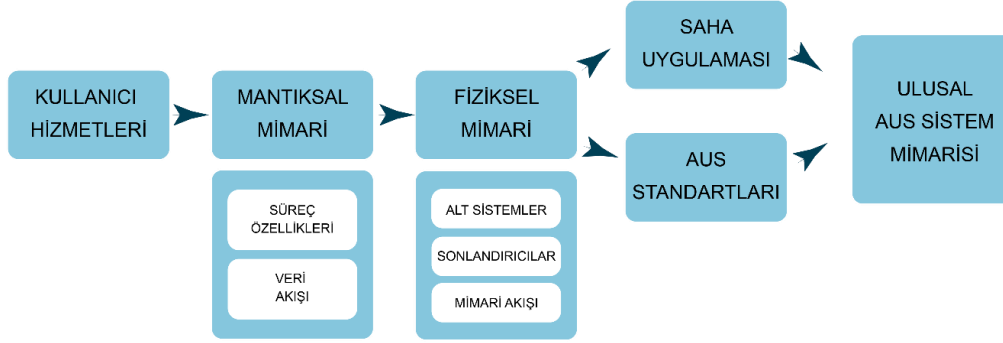
Politika Belgesi	AUS Mimarisi
e-Türkiye Girişim Eylem Planı (Taslak) (T.C. Başbakanlık, 2002)	Akıllı ulaşım hizmetleri başlığı altındaki bölümünde, <i>Türkiye Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi ve Tasarım Kuralları Dokümanı</i> oluşturulması, yapılacak işlemler arasında sayılmıştır. Burada AB AUS mimarisinin referans alınması, ancak Türkiye’nin ihtiyaçlarının önceliklendirilmesi tavsiye edilmiştir. AUS gelişim planı hazırlanması da yapılması gereken bir diğer işlem olarak yer almıştır.
Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016) (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)	Ulusal düzeyde bir AUS mimarisi oluşturulması hedefine yer verilmiştir.
2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017)	AUS mimarisinin tanımı; akıllı ulaşım ile ilgili uygulamalar kapsamında, hangi hizmetlerin nerelerde, ne şekilde ve hangi standartlarda verileceğini içeren çerçeve şeklinde yapılmıştır.



**Tablo 6.** Türkiye politika belgelerinde ve çalışmalarda AUS mimarisi

2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017)	AUS'un geliştirilmesine ilişkin tanımlanan eylemde ise ulusal düzeyde bir AUS mimarisinin oluşturulması çalışmalarının sonuçlandırılması eylem adımına yer verilmiştir.
On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2019)	Lojistik ve Ulaşım 511.5 ve Kentsel Altyapı 704.2 politika tedbirleri altında, AUS mimarisinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmaların tamamlanması ve yaygınlaştırılması hedeflenmiştir.
Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019)	AUS'un planlanması, tanımlanması, entegrasyonu ve uygulanması amacıyla ortak bir çatı oluşturulması şeklinde tanımlanan mimari için belirli terminolojiye ve standartlara uygun olarak oluşturulacağına vurgu yapılmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinin özel bir madde olarak yer aldığı belgede, ulaşım ve haberleşmenin etkin, hızlı, akıllı, güvenli ve entegre yönetim sisteminin, çağın gereklerine uygun bir şekilde kurabilmesi için UAB tarafından yapılacak işler sıralanmıştır.
Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)	Ulusal AUS mimarisinin geliştirilerek yayınlanmasına ilişkin bir eyleme yer verilmiştir. AUS standartların belirlenmesi kapsamında da ayrı bir eylem adımı bulunmaktadır.
2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2022)	Ulusal AUS mimarisinin yerel yönetimleri de kapsayacak şekilde tamamlanarak uygulamaya koyulması hedeflenmiştir.
1 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2022)	<i>“Akıllı ulaşım sistemlerine yönelik ulusal stratejileri, hedefleri, mimarileri, ulusal ölçekte uyulması gereken teknik kriterleri belirlemek, eylem planlarını hazırlamak ve izlemek, yenilikçi akıllı ulaşım sistemleri projeleri geliştirmek, kamu kurum ve kuruluşları, belediyeler, il özel idareleri, gerçek ve tüzel kişilerce akıllı ulaşım sistemleri kapsamında üretilen verilerin kullanılmasını ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla veri yönetim merkezi kurmak, kurdurmak, işletmek, işlettiirmek, bu görevlerle ilgili uygulama usul ve esaslarını belirlemek.”</i> hükmü yer almıştır. Bu doğrultuda, AUS mimarisinin hazırlanması ve sonrasında tüm süreçlerin takibi, UAB Haberleşme Genel Müdürlüğü (HGM)'nün görev ve sorumlulukları arasına girmiştir.
T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan 2019-2023 (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022a)	Can ve mal emniyetinin en üst seviyede sağlandığı, toplumun tüm kesimlerini kapsayan, sürdürülebilir, kesintisiz ulaşım hizmetlerinin sunulmasını sağlamak hedefi altında, AUS mimarisinin geliştirilmesine yönelik projenin tamamlanması, performans göstergesi olarak yer almıştır.

AUS mimarisine ilişkin olarak (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)'da “AUS'nin ülke genelinde planlama ve entegrasyonu için idari ve teknik mevzuatın ulusal ve uluslararası ihtiyaçlara göre geliştirilmesi” stratejik amacı altında, “Ulusal düzeyde bir AUS mimarisinin oluşturulması” hedefi belirlenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, AUS'a ilişkin ortak bir terminoloji oluşturulması ve mimarinin hazırlanmasına ilişkin iki adet eylem yer almıştır. Söz konusu dokümanda, AUS mimarisinin hazırlanmasına ilişkin Şekil 10'da yer alan adımlar öneri olarak sunulmuştur.



**Şekil 10.** AUS mimarisi tasarım adımları (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014)

Türkiye’de ilk AUS mimarisi geliştirme çalışmaları, ulusal düzeyde bir AUS mimarisi oluşturmak hedefi kapsamında, “AUS kullanıcı hizmetlerinin, mantıksal çerçevesinin ve fiziksel birimlerinin belirlenmesi” eylemi doğrultusunda, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) koordinasyonunda, UAB Strateji Geliştirme Başkanlığı ile İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü’nün sorumluluğuna verilmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2014). Bu doğrultuda ülke ihtiyaçlarını dikkate alan ulusal AUS mimarisi hazırlanmasına, ilk olarak 2014 yılında KGM öncülüğünde bir proje ile başlanmıştır. Bu kapsamda dünya örneklerinin incelenmesi ile kamu ve özel sektör paydaşları ile yapılan çalıştay faaliyetleri sonucunda, “Ulusal Karayolları Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi” çerçeve olarak hazırlanmış ve Antalya bölgesinde uygulamaya koyulmuştur. Ulusal ölçek dikkate alınarak tasarlanmış olan bu taslağın uygulanmasına ilişkin dikkat edilmesi gereken hususlar, görev ve yetkiler konusunda kurumların mutabakatı, bakım ve destek iş süreçleri gibi birçok hususta, belirsizlikler oluşmuştur (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020). Sorumlu kurum, kuruluşlar ve diğer paydaşlar da dahil edilerek yürütülen bu ilk AUS mimarisi çalışması girişimi sonucunda, karayolu ağı genelinde birlikte çalışabilen ve entegre bir sistem içerisinde yaygınlaştırılması ihtiyacı doğrultusunda hazırlanan muhtelif teknik şartname dokümanları, Taslak Ulusal AUS Mimarisi, AUS Uygulama Planı ve Teknik Raporlarını içeren kapsamlı bir taslak doküman hazırlanmıştır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2016). Ancak söz konusu taslağın Türkiye’de tüm ulaşım modları ile kent içi ve şehirler arası yol ağını içine alan, ayrıca kullanıcı ihtiyaçlarının doğru analizinin yapıldığı bir model olup olmadığı hususunda görüş birliğine varılamamıştır.

KGM koordinasyonunda hazırlanan taslak AUS mimarisi çalışmasında ilk olarak trafik yönetimi, yolcu bilgilendirme, toplu taşıma yönetimi, taşıt güvenlik ve kontrol, yük ve filo yönetimi, afet ve acil durum yönetimi, yol bakım ve yapım yönetimi, veri arşiv yönetimi, elektronik ücret toplama yönetimi, yaya ve trafik güvenliğinden oluşan 10 adet hizmet paketi yer almıştır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020).

Ulusal AUS mimarisi geliştirilmesi, UAB’nin Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planında da AUS altyapısının iyileştirilmesi kapsamında önemli bir eylem başlığı olmuştur. Ulusal AUS mimarisi ile AUS’un organizasyon ve koordinasyonu için bir çerçeve sunulması, böylece uygulamaya koyulacak kullanıcı hizmetlerinin belirlenmesi, paydaş kuruluş faaliyetleri ve kurumsal iş birliği ile bilgi ve veri akışlarının sağlanabilmesi hedeflenmiştir. Eylem ile 2022 yılı sonuna kadar AUS mimarisinin, 2023 yılı sonuna kadar kullanım kılavuzunun hazırlanarak uygulamaya koyulması planlanmıştır. Aynı eylem olarak belirlenen AUS standartlarının belirlenerek sınıflandırılması da mimari için tamamlayıcı bir unsur olarak görülmüştür. Her iki eylemin sorumlusu olarak UAB HGM belirlenmiştir. Ayrıca il ve karayolu trafik kontrol merkezleri için belirlenen eylemlerde kurulacak olan ya da mevcut trafik kontrol merkezlerinin ulusal AUS mimarisi ile uyumlu hale getirilmesi, veri alışverişlerinin de bu doğrultuda yapılması gerektiği vurgulanmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Eylem

planında zikredilen doğrultuda, ulusal AUS mimarisi hazırlanması ile ilgili projelendirme süreçleri tamamlanarak ilgili çalışmalara 2020 yılının son çeyreğinde HGM tarafından başlanmıştır ve 2023 yılı son çeyreğinde tamamlanarak yayınlanması planlanmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2021).

#### 4.2. Ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi süreci

AUS mimarisi, temelde ulaşım güvenliğinin ve performansın artırılması, seyahat sürelerinin kısaltılması ve çevresel etkilerin azaltılması için kurulan sistemlerin birlikte çalışmasını sağlayan bir çerçevedir. Sahada kullanılan akıllı ulaşım sistemlerinin planlanması, tanımlanması ve entegrasyonu için ortak bir çerçeve sunan “*sistemler sistemi*” olarak ifade edilebilen bir kavramdır. Bununla birlikte tüm AUS paydaşlarının birlikte çalışmasına olanak tanıyan teknik, idari, hukuki, yasal konuları da kapsayan sistemler bütünüdür (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2020). AUS mimarisi çerçevesi belirlendiğinde ve uygulanmaya başladığında, etkin ve verimli olması için tüm ilgili paydaşlar tarafından sahiplenilmesi ve kabul görmesi büyük önem arz etmektedir. Ancak AUS ile ilgili konularda bugüne kadar Türkiye’de benimsenen yaklaşım, öncelikle uygulamaların geliştirilmesi, kullanımı esnasında ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda mevzuat ve düzenlemelerle desteklenmesi şeklinde olmuştur (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2017).

Amerika, Avrupa ve Asya’daki gelişmeler, ulusal AUS mimarisin hazırlanması ve akabinde geliştirilme süreçlerinin, öncelikle tüm paydaşları içine alan ve ihtiyaçların ortaya koyulduğu aşamalardan geçtiğini göstermektedir. Bunların yanı sıra, (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)’de ulusal AUS mimarisinin; mevzuata uygun olarak teknik ihtiyaçları karşılama, bölgesel ya da yerel anlamda ihtiyaç doğrultusunda ölçeklenebilir esnek bir yapıda olması, mevcut ve yenilikçi tasarım ile uygulamalar için gereklilikleri tanımlaması, teknoloji bağımsız bir yaklaşıma sahip olması, sistemi oluşturan süreçler dahil tüm bileşenleri tanımlaması ya da tarif etmesi, uyumluluk ve uygulanabilirlik için önlemler barındırması ve tüm AUS kullanıcıları için bir kılavuz görevi üstelenmesi gerektiği hususları, genel bir AUS mimarisinin taşıması gereken özellikler olarak belirtilmiştir.

Bir ulusal AUS mimarisinin gelişimi için örnek araştırılırken, ulaşımla ilgili konulara odaklanmanın yanında, farklı alanlardaki gelişmeleri de dikkate almak, bakış açısının kapsayıcılığı açısından iyi bir yaklaşım ya da tercih olabilir. Örneğin Açık Sistemler Ara Bağlantısı (OSI) mimarisi modeli için belirtildiği üzere genel olarak, bir mimari yapıyı geliştirmek ve kurmak için koordinasyon, basitlik ya da kolaylık, ekonomik/politik ve eğitimden oluşan dört argüman ileri sürülebilir. Koordinasyon kapsamında sistemlerin birlikte çalışması için kurallar geliştirerek bunların birlikte çalışmasını sağlamak, mükerrerliği önlemek, teknik tanımlamaların tutarlılığını artırarak geliştirmeye olanak tanımak için bir dizi ilke ve sözleşmeye sahip olmak yararlı olacaktır. Mimari üzerinde çalışmak, geliştirme ve değişimi kolaylaştıracak bir modül yapısı ortaya koymaktadır. Seçilen teknolojik çözümler her ne olursa olsun ekonomik ya da politik açıdan tarafsızlık içermelidir. Referans model ile somutlaştırılan yapı, geliştirmeye rehberlik edebilmekte, tutarlılığı sağlayabilmekte ve kapsamlı bir bütün oluşturmayı kolaylaştırarak eğitici ve öğretici olabilmektedir (Day & Zimmermann, 1984). Bilgisayar ağlarının birbiriyle uyumlu, birlikte çalışabilen ve standartları olan bir yapıya ihtiyaç duyulduğu sırada ortaya çıkan yedi katmanlı bu mimari model, yaşanan sorunların çözümünde genel kabul gören evrensel bir model haline gelmiştir. Uygulama, sunum, oturma, taşıma, ağ, veri bağlantısı ve fiziksel katmanlardan oluşan bu referans mimari, her ülkenin ihtiyaçları doğrultusunda, ancak protokollere bağlı kalmak suretiyle geliştirilmiş ve geniş kitlelere yayılmıştır. Benzer şekilde, Türkiye’deki mevcut AUS uygulamaları ile gelecekteki gelişmelerin uyumu, birlikte çalışabilirliğin, paydaşlar arasında koordinasyonun sağlanması gibi hususlarda, AUS ekosisteminde de bir çerçeveye, yani ulusal AUS mimarisine ihtiyaç bulunmaktadır.

Birçok farklı alana ilişkin çalışmalarda olduğu gibi ulusal AUS mimarisi geliştirilmesi sürecinde de dünya ölçeğinde elde edilen kazanımların yerel koşullara uyarlanması, uygulamalardan verimli ve pratik sonuçlar elde edilmesini sağlarken, ulusal çözümler ya da özgün uygulamalar oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır. Bu uyarılma; tercüme edilmiş tanımlar ve belirlenen terminolojiyi, standartlar dahil mevcut yasal altyapıya uygunluğu, politik faktörler ve kalkınma stratejilerini dikkate almayı, başta bilgi ve haberleşme ile ulaşım teknolojileri olmak üzere altyapının mevcut ve öngörülen durumunu gözetmeyi, ekonomik faaliyetler ile sistemlerin geliştirilmesi, tasarlanması, yaygınlaştırılması ve

işletilmesi için gereken insan kaynağı unsurunu dikkate alarak hedeflerin önceliklendirildiği bir tasarımı içermektedir (Chojnacki vd., 2014).

Dünyada birçok ülke tarafından gerçekleştirilen AUS ile ilgili teknik ve idari düzenleme içeren mimari de dahil tüm çalışmalar, genel olarak bu alanda küresel ölçekte öncü deneyimlere ve en iyi uygulama örneklerine dayanmaktadır. AUS ile ilgili gelişmeler ve teknolojik gelişmelere ilişkin bilgilere ise bilimsel ve akademik çalışmalardan, uluslararası standartlardan, bu alandaki çalışmalarda ileri düzeyde olan ülke ve kuruluşların açık erişimli mevzuat, direktif gibi düzenlemelerinden ulaşılabilmektedir. Türkiye’de ulusal AUS mimarisi hazırlanması sürecinde, ABD, AB, Güney Kore, Japonya ve benzeri ülkelerin AUS mimarilerinin incelenmesi, mevcut durum analizi ve envanter çalışması yapılması, referans alınacak mimari tasarımın belirlenmesi, mimari kullanım kılavuzunun hazırlanması adımlarına yer verilmiştir. Referans olarak seçilecek tasarım için AUS kullanıcı hizmetlerinin doğru ve eksiksiz tanımlanması, tüm kullanıcı hizmetlerinin detaylandırılması, fiziksel birimlerin alt elemanlarına kadar tarif edilerek veri alışverişi sağlayacak gerekli önlemlerin alınması, rol ve sorumlulukların belirlenmesi gibi hususlar belirtilmiştir. AUS mimarisi için gerekli mevzuat ihtiyacının karşılanması, AUS standartlarının mimari ile uyumu ise ayrıca vurgulanmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Bu doğrultuda, UAB Ar-Ge projeleri destekleri çerçevesinde ulusal AUS mimarisinin hazırlanmasını da içeren “Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi”, 28.09.2021 tarihli protokol ile resmi olarak başlamış ve proje için 24 aylık bir süre öngörülmüştür. Proje kapsamında, kullanıcı gereksinimlerini dikkate alarak AUS uygulamalarının yerine getireceği görevler ile kullanım alanlarını belirleyen bir ulusal AUS mimarisinin oluşturulması çalışmalarında sona yaklaşmıştır. Türkiye’de AUS alanında kullanılan ve ihtiyaç duyulacak standartlar tespit edilerek sınıflandırılması yapılmış, yıkıcı yenilikçi teknolojiler ile etkilerinin AUS alanına yansımaları araştırılmıştır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022b) (AUS TÜRKİYE, 2022). Ulusal AUS mimarisi geliştirme süreçlerinde UAB tarafından da uluslararası kaynaklardan yararlanıldığı görülmektedir.

Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı doğrultusunda çalışmaları devam eden ulusal AUS mimarisi hazırlama projesinin (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023) temel amacı, Türkiye’de AUS standartlarının, teknolojilerin, uygulamaların, hizmetlerin ve veriler arasındaki akışların belirlenmesi, AUS uygulamalarında entegrasyon ve birlikte çalışabilirliğin sağlanması, mükerrer yatırımların önüne geçilerek maliyet ve zaman kaybının önlenmesidir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Bu doğrultuda teknik isterler dokümanı oluşturulurken eylem planında yer alan uygulama adımları dikkate alınmıştır. Proje ile (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020)’de belirtilen AUS standartlarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması, AUS alanında yıkıcı yenilikçi teknolojiler ile etkilerinin araştırılması ve ulusal AUS mimarisinin geliştirilerek kullanıma sunulması eylemleri doğrultusunda çalışmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda mevcut durum analizi, envanter çalışması, dünya literatürünün taranması, iyi uygulama örneği ülkelerin incelenerek raporlanması, ulusal AUS mimarisinin oluşturulması için uygulama ve hizmet paketlerinin belirlenmesi süreçleri tamamlanmış olup mimari yazılımının geliştirilmesi ve ulusal AUS mimarisinin de yayınlanacağı ulusal AUS platformunun hazırlanması faaliyetlerinde son aşamaya gelinmiştir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2021).

Ulusal bir AUS sistem mimarisi geliştirme süreci, bir mimariyi oluşturmak ve ortaya koymak kadar önemlidir. Bu süreç, planlamacıların ve karar vericilerin, ülkenin AUS’una dahil edilecek varlıklar hakkında dikkatli ve sistematik bir şekilde düşüncelerini gerektirmektedir. Etkili bir süreç, ülkenin her yerinden çok çeşitli ulaşım paydaşlarının görüş ve gereksinimlerinin alınmasını içermekte ve bu durum, her zaman daha güçlü ve daha kullanışlı bir mimari (ve dolayısıyla daha güçlü ve daha kullanışlı bir AUS) ile sonuçlanmaktadır (Yokota & Weiland, 2004). Ayrıca, daha büyük bir siyasi destek ve potansiyel olarak finansal destek sağlaması, bu paydaşların AUS’u uygulamaya koymanın genel sürecine katılmasını sağlamaya yardımcı olabilecektir. Bu nedenle, Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi süreci, UAB tarafından katılımcı bir yaklaşımla yürütülmektedir.

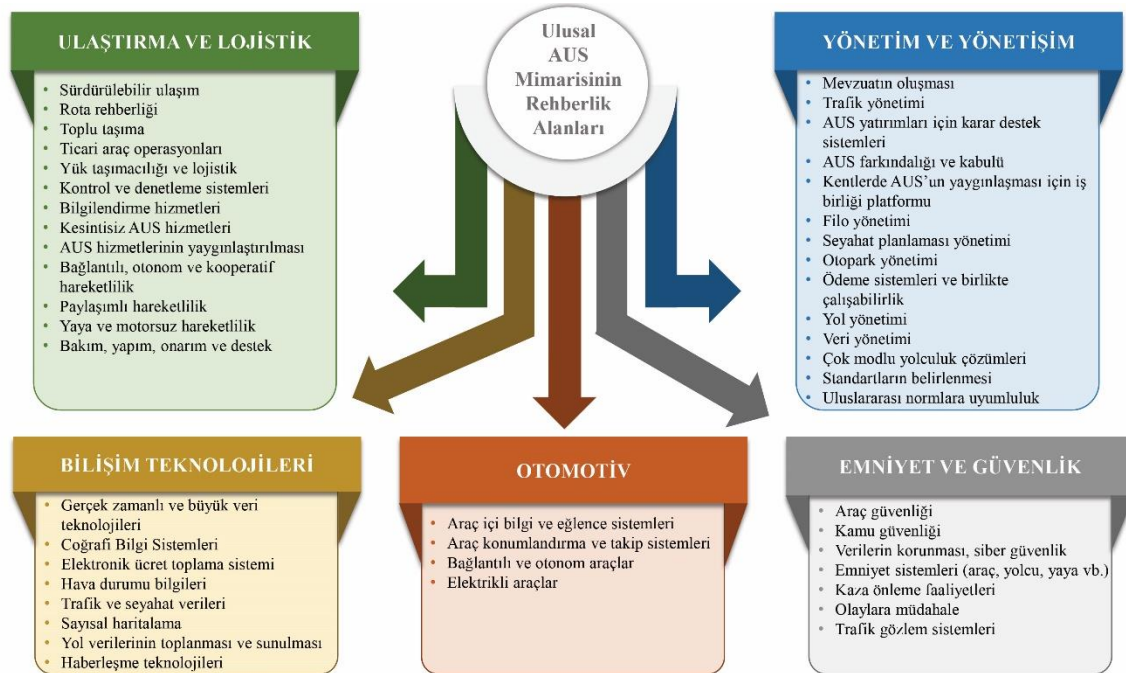
### 4.3. Ulusal AUS mimarisinin rehberlik alanları

Ulusal AUS mimarisinin öncelikle ulusal düzeyde entegre bir “akıllı ulaşım ağı” oluşturmak için kuralları ortaya koyan bir tasarım olması beklenmektedir. AUS mimarisi, kendi içindeki alt sistemlerin

mimarilerini de ayrıca barındırma özelliği taşımaktadır, yani birbiriyle ilişkili birçok sistemin mimarisinin bir araya geldiği bir bütünü temsil etmektedir.

Ulusal AUS mimarisinin temel paydaşlarını kamu kurumları, yerel yönetimler, üniversiteler, STK'lar, AUS sektöründe faaliyet gösteren gerçek ve tüzel kişiler ile özel kuruluşlar, yani AUS ekosisteminde yer alan seyahat edenler, toplu taşıma şirketleri ve sağlayıcıları, ulaştırma şirketleri, planlama kuruluşları, kamu güvenliğinden sorumlu kurumlar, filo işletmecileri, lojistik şirketleri, akademisyenler, belediyeler gibi birçok paydaş oluşturmaktadır. AUS, çok çeşitli teknolojiler, özellikler ve bileşenler içerdiğinden, tüm bunlar, etkili planlama, haberleşme ve paydaşlar arasında koordinasyonu gerektirmektedir. Haberleşme, coğrafi konumlama, coğrafi bilgi sistemleri, veriyi toplama, saklama ve paylaşma gibi tüm faaliyetler, görüntüleme sistemleri, algılama ve sınıflandırma teknolojileri, araç navigasyon sistemleri, dijital haritalama gibi uygulamalar akıllı ulaşımın öne çıkan unsurlarından bazılarıdır (Sejdini & Nechoska, 2022). Birbirinden çok farklı süreçler içeren bu kavramların koordinasyonunda, ulusal AUS mimarisinin rehber edeceği bir sistematiğe ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye için tasarlanacak ulusal AUS mimarisi; yol ağının optimum kullanımı, etkin trafik ve seyahat yönetimi çözümleri, trafik ve yük yönetiminin bütünlüğü, yol emniyeti ve güvenliğinin sağlanması, farklı AUS çözümlerinin entegrasyonu, veri güvenliği ve korunması ve buna ilişkin yasal sorumluluklar ile öncelikle Avrupa Birliği olmak üzere uluslararası uyumluluk gibi konuları temel alarak bu alanlarda rehberlik etmelidir. Bu doğrultuda ulusal AUS mimarisinin rehberlik edeceği alanlar geniş bir çerçeveye arz etmekle birlikte öne çıkanları, Şekil 11'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 11. Ulusal AUS mimarisi rehberlik alanları

Ulusal AUS mimarisi, ekonomi, sanayi, sağlık, eğitim, tarım ve bilişim gibi alanlarda, ulaşım çözümlerine ihtiyaç duyan pek çok sektöre hitap eden çözümler sağlayabilir. Özellikle kent içi ulaşımın planlaması ve yatırımlarda etkinliğin sağlanması, merkezi yönetim ile yerel yönetimler arasında koordinasyon için önemli bir adımdır. Aynı zamanda şehirler arası yol ağına yönelik etkin planlama ve çözümler için de rehberlik etmesi mümkündür. Ulusal AUS mimarisi, esnek ve gelişmelere açık yapısı ile faaliyetlerinde ulaşımı etkileyen ya da ulaşımdan etkilenen tüm alanlarda kaynakların doğru kullanıldığı verimli çözümlerin sunulmasında yol gösterici olabilir.

#### 4.4. Ulusal AUS mimarisinin yaygınlaştırılması için öneriler

AUS mimarisi, AUS uygulamaları ve hizmetlerinin entegrasyonu için planlar yapılmasını sağlayan bir dizi üst düzey bakış açısı sunmakta, teknik hususların yanı sıra, ilgili kurumsal yasal ve ticari konuları da kapsamaktadır. AUS mimarisi; mantıklı bir şekilde planlama, diğer sistemlerle başarılı bir şekilde

entegrasyon, istenen performans seviyelerini karşılama, istenen davranışa sahip olma, yönetilmesinin kolay olması, bakımının kolaylığı, genişletilmesinin mümkün olması, kullanıcıların beklentilerini karşılama gibi özellikleriyle AUS'un yaygınlaşmasına yardımcı olmaktadır (Chojnacki vd., 2014).

AUS, dağıtık bir yapı ile ihtiyaçlar doğrultusunda çeşitli şekillerde ortaya çıkarken bir mimari yaklaşımla tasarlanmamış olabilir. AUS'un henüz fark edilmeye başlandığında ya da yaygınlaşması hızlandıkça sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyması ise muhtemel bir sonuçtur. Türkiye'de birçok şehirde, aynı zamanda karayolu ağında birbirinden farklı şekillerde oluşturulan akıllı ulaşım sistemlerinin; ulusal düzeyde birlikte çalışabilirlik, kaynakların etkin kullanımı, mükerrer yatırımlardan kaçınma, altyapıların sürdürülebilirliği gibi amaçlar doğrultusunda bir sistematik çerçevesinde yönetilmesi gerekmektedir. Bu sistematik ise bir orkestra şefi gibi AUS'un zorlu uygulama süreçlerini sistematik hale getirecek olan ulusal AUS mimarisidir. Türkiye'de AUS uygulamaları ve çözümleriyle ilgili birçok çalışma ve deneyim bulunmaktadır. Ulusal AUS mimarisi ve benimsenen standartlar sayesinde, bu uygulamalardan ve hizmetlerden maksimum fayda sağlanabilecektir.

Türkiye için oluşturulan ulusal AUS mimarisinin; AUS'un planlanması, analizi, tanımı, kurulumu, işletilmesi, yaygınlaştırılması ve entegrasyonu gibi hususlar için ortak bir yapıyı yani çerçeveyi belirlemesi beklenmektedir. Ulusal AUS mimarisi, akıllı ulaşımın ülke genelinde kabulünde kapsayıcı ve etkili bir itici güç olmasının yanında, yaygınlaşmasında da iyi bir araç olacaktır. Ancak, AUS'un yaygınlaşmasına potansiyel etkisi olacağı düşünülen AUS mimarinin geliştirilmesinin yanında uygulanması ve yaygın bir şekilde kullanımının sağlanması da çözüm bekleyen önemli bir husustur. Bu nedenle, AUS yaygınlaşırken mimarinin ülke genelinde ilgili tüm paydaşlar tarafından öncelikle gönüllülük esasıyla kabul görmesi önemlidir.

Dünyadaki iyi örneklerden ve deneyimlerden yararlanarak geliştirilmekte olan ulusal AUS mimarisinin kabulünü ve yaygınlaştırılabilmesini sağlayacak önemli bir husus, öncelikle uygulanmasının kolay olması ve verimli bir şekilde yerel koşullara uyarlanabilmesidir. Ulusal AUS mimarisinin kabulü için dikkate alınması ve süreç içerisinde tasarıma dahil edilmesi önerilen hususlar aşağıda özetlenmiştir:

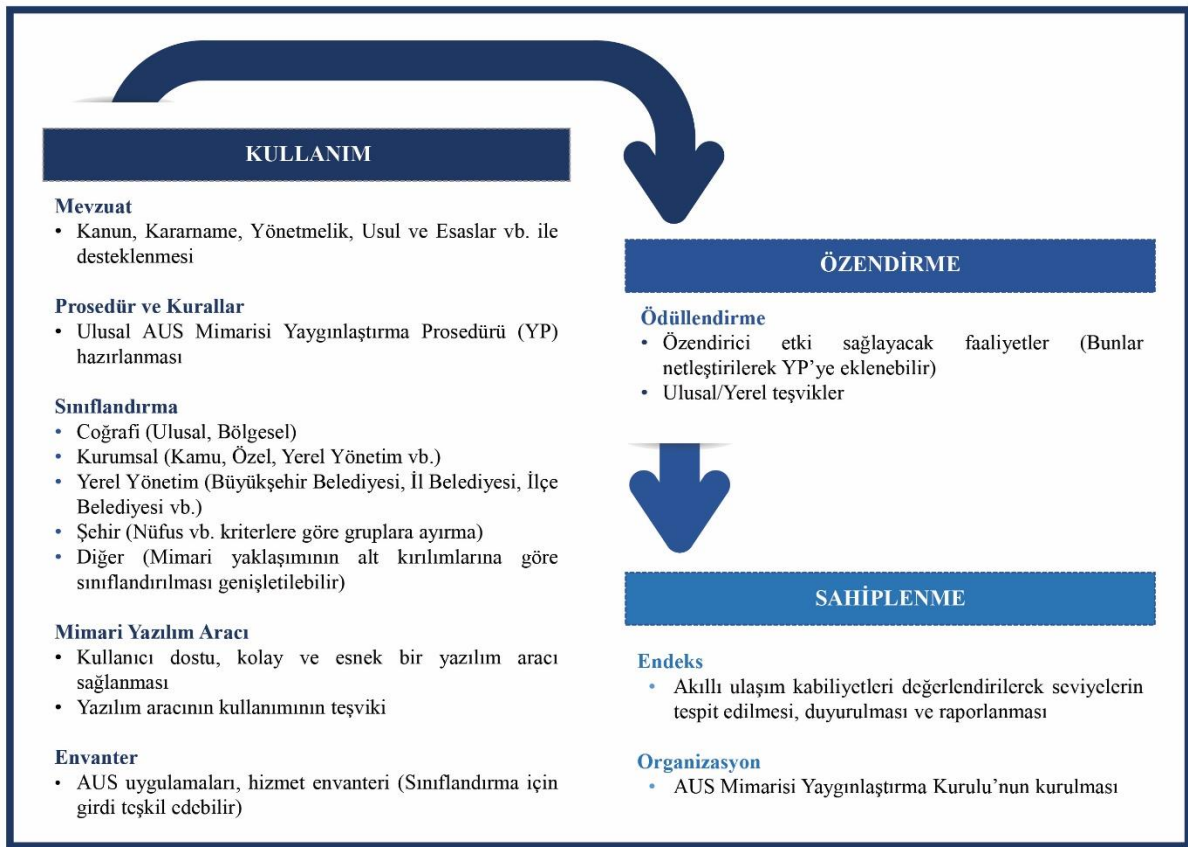
- İlgili tüm paydaşların görüşleri alınmalı ve geliştirilen tasarım, buna uygun olmalıdır.
- Ulusal AUS mimarisi için tanımlar ve terminoloji açık, net ve anlaşılır hale getirilmeli yani bir kılavuz hazırlanmalıdır.
- AUS standartları, Türkiye'nin mer'î mevzuatına ve yasal ihtiyaçlarına uygun olmalıdır.
- Ulusal kalkınma planları ve stratejik planlardaki hedefler ile uyumu sağlanmalıdır.
- Öncelikle ulaşım, bilgi ve haberleşme alanlarına ilişkin altyapının mevcut ve öngörülen durumunu dikkate alınmalıdır.
- Yerel/bölgesel mimarilerin geliştirilmesi, tasarlanması, kurulması ve işletilmesi için gereken insan kaynağı ihtiyacını öngörmelidir.
- Ekonomik koşulları önemseyerek siyasi, sosyal ve kültürel faktörlere göre hedefler hiyerarşisine sahip yazılı bir yaygınlaştırma planı hazırlanmalıdır.

Ulusal AUS mimarisi, yayınlanmadan önce ya da hemen akabinde ülkede kabulünün sağlanması, etkinliğinin artırılması ve yaygınlaşmasının hızlanması için mevzuat ile desteklenmesi gerekmektedir. Türkiye'nin tüm coğrafi alanını ve ulaşımın tüm modlarını içine alan bir yaklaşımla ulusal AUS mimarisinin kullanımına ilişkin mevzuat altyapısının güçlendirilmesi, öncelikli ve önemli gereklilikler arasındadır. AUS'un ülke genelinde kurulumu ve yaygınlaşmasında ulusal AUS mimarisini benimseyecek paydaşların tanımlanarak sınıflandırılması, sorumlulukların çerçevelerinin belirlenmesi ise olası organizasyonel sorunların önlenmesi açısından önemli bir husus olacaktır.

AUS mimarisinin oluşturulabilmesi için belirli bir hizmetten başlayarak diğer farklı hizmetleri sisteme dahil etmek gerektiğinden, standart bir yaklaşım ile teknik şartnameler oluşturarak mevcut ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel teknolojileri de dahil edecek bir planlamaya ihtiyaç vardır (Çapalı, 2022). Ulusal AUS mimarisinin gelişen teknolojilere uyuma açık olması, ulusal AUS mimarisine uygun şekilde Türkiye MaaS mimarisinin belirlenmesi (Talih & Tektaş, 2023), ayrıca K-AUS uygulamaları için gelişmelere açık olması (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018), yaygınlaşması ve kabulü için artı değer katacaktır. Bu durum, yayınlanacak mimarinin güncellemelere izin veren esneklikler içermesini gerektirmektedir. Esnek yapıdaki bir mimarinin ise yaygınlaşması ve uyarlanması daha kolay olacaktır.

İnsanlar, arazi kullanımı, faaliyetler, yol ve çevresel parametreler, bir AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaşmasının ayrılmaz birer parçasıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı tesis etmek için bu parametreleri dikkate alan, bilgi ve haberleşme teknolojilerini kullanarak entegre eden, geleceğin ulaşım trendlerini dahil eden AUS mimarisi iyi bir öngörüdür (Das vd., 2016). Böyle bir mimari tasarımın, tüm parametrelerinin aynı zamanda paydaş gereksinimlerini de içeriyor olması dolayısıyla hızlı ve kolay kabulü mümkün olabilecektir.

AUS çözümlerinin ve uygulamalarının Türkiye’deki mevcut durumu, ulusal bir AUS mimarisinin geliştirilmesine, ülkenin gereksinimlerine göre uyarlanmasına, ardından uygulanmasına ve yaygın bir şekilde kullanımına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, yayınlanacak olan ulusal AUS mimarisinin, Türkiye genelinde kullanımına ve yaygınlaşmasına yönelik bir model, Şekil 12’de gösterildiği gibi önerilmektedir. Önerilen model, gönüllülük esaslı kullanım, özendirme ve sahiplenme politikaları ile uygulamaları çerçevesinde yaygınlaştırmaya dayanmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı dostu, kolay ve pratik bir yazılım aracının tüm paydaşlara sunulması da mimarinin kabulünü ve yaygınlaştırılmasını destekleyecektir.



**Şekil 12.** Ulusal AUS mimarisi yaygınlaştırma model önerisi

Ulusal AUS mimarisi, izlenebilir, kolay uygulanabilir ve aynı zamanda gelişen teknoloji ile süreçlerdeki yenilikleri entegre etmeye imkân sağlayan esnekliğiyle süreklilik arz ederek tanımlamaların net bir şekilde ifade edildiği bir yapıda olmalıdır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018). Bu doğrultuda, tüm paydaşları içine alan bir mevzuat ile desteklenen, “Ulusal AUS Mimarisi Yaygınlaştırma Prosedürü” dokümanının şeffaf, açık, ayrıntılı ve çok boyutlu bir projeksiyon içerecek şekilde hazırlanması, önerilen modelin uygulanmasını kolaylaştıracaktır.

Türkiye’de ulusal AUS mimarisinin geliştirilmesi sonrasında yaygınlaştırılarak etkin ve verimli kullanımının sağlanması için dünyadaki iyi örneklerin dikkate alınması, ancak Türkiye koşullarının analizinin dikkatle yapılması ve buna göre uyarlanarak yaygınlaştırma yönteminin tercih edilmesinin, uygun bir seçenek olduğu değerlendirilmektedir. Ulusal AUS mimarisi, çok katmanlı, çok paydaşlı ve birbirinden farklı birçok sürece sahip yapının kısa bir ifadesidir. Bu çok katmanlı yapı için üzerinde çalışılan tasarımın esneklik içermesi ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda, gelecekteki değişim ve

dönüşüme uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Değişim ve dönüşüme hazır olan tüm plan ve projelerin, sürdürülebilir olması kolay ve mümkün olacaktır. Yeni AUS gereksinimleri ortaya çıktıkça ve yeni çözümler kullanılabilir hale geldikçe, mimari aşamalı olarak geliştirilebileceği için Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için adım adım bir AUS mimarisinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması faydalı olacaktır.

## 5. Sonuç ve Değerlendirmeler

AUS, ulaşım sistemlerinin performansını iyileştirmeyi ve etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmayı, karar verme sistemleri aracılığıyla ulaşım altyapılarının verimli kullanımını sağlamayı ve ulaşım sistemlerinden genel olarak memnuniyet elde edilmesini amaçlayan, araç, altyapı ve kullanıcı bileşenlerinden oluşan, planlama ve uygulama süreçleri için sistematik bir temel gerektiren karmaşık sistemlerdir. Bilgileri toplamaktan, işlemekten ve entegre etmekten sorumlu olan sistemler ile son kullanıcılara elde edilen sonuçları ve bilgileri sağlamaktan sorumlu olan sistemlerden oluşan AUS, ulaşım alanında telematik kavramlarının uygulanmasından kaynaklanan farklı araçları ve hizmetleri içermektedir (Perallos vd., 2015).

AUS'un planlanması ve uygulanması için sistematik bir yaklaşım gerektiren karmaşık sistemlerden oluşması ve yoğun bir şekilde bilgi teknolojilerini içermesi dolayısıyla, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için etkin ve sistematik bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. AUS'un bir ülkede nasıl çalışacağını açıklamak ve ana yapı taşlarını tanımlamak için değerli bir araç olan AUS sistem mimarisi, bu süreçte yardımcı olmakta ve uzun yıllardır dünya genelinde ele alınan bir konu olma özelliğini korumaktadır.

AUS hizmetleri yelpazesini ele almaya yönelik kapsamlı bir sistem mühendisliği çabasının sonucu geliştirilen AUS sistem mimarisi, sistem yönetimi ve planlaması için veri paylaşım yaklaşımını ortaya koyması, ortak fonksiyonlar ve fonksiyonel entegrasyon sağlaması, ortak teknoloji ve açık arayüz standartlarını tarif etmesi dolayısıyla Türkiye gibi büyük ülkelerde, AUS'un ülke genelinde uyumlu ve etkileşimli olarak geliştirilerek devreye alınmasını sağlamakta, uygulamalar arasında etkileşimin ve veri alışverişinin kolayca ve bütünlük olarak yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Ulusal AUS mimarisi, birlikte çalışabilirlik, işlevsel gereksinimler ve mantıksal mimari gibi sistem mühendisliği kavramlarını ortaya koymakta, mimarinin genişleyebilir, güncellenebilir olmasıyla, geliştirilmekte olan veya bugün var olmayan sistemler için standartlar ekleyerek gelecek AUS için çerçeve çizmektedir. Şehirlerdeki AUS mimarisi gelişimi, sürdürülebilir bir şekilde hareketliliği geliştiren hizmetlerin kademeli olarak iyileştirilmesinde rol oynadığından, ülkelerin ulusal AUS mimarilerinin yaygınlaşmasını sağlayacak tedbirleri ortaya koyması, yürütülen çalışmaları desteklemesi gerekmektedir.

Dünyada AUS sistem mimarisi oluşturmak ve uygulamak için FRAME mimarisi ve ABD ulusal AUS mimarisi olarak temelde iki farklı yaklaşımın bulunduğu görülmektedir. FRAME mimarisi, Avrupa Birliği ülkelerine mimarilerini hazırlamada esneklik sunarken ABD eyaletlerinde AUS uygulamalarında federal fonlardan yararlanabilmek için ABD ulusal AUS mimarisine uyumlu olma zorunluluğu bulunmaktadır. ABD, oluşturduğu ARC-IT mimarisinin bölgelere uyarlanmasını merkezi fonlardan yararlanma koşulu haline getirmiş, ancak Avrupa'da FRAME mimarisinin özelleştirilmesi yerellik ilkesi gereği ülkelerin inisiyatifine bırakılmıştır. Bu nedenle, FRAME mimarisi kavramsal altyapısının sağlamlığına ve güçlü teknik özelliklerine rağmen, ARC-IT'ye kıyasla yaygınlaşmamış bir mimaridir. FRAME'in detaylı ve kapsayıcı bir internet platformunun bulunmaması da AUS mimari çerçevesi olarak ülkeler tarafından adaptasyonunu zorlaştıran unsurlar arasındadır.

Ulusal AUS mimarisini yaygınlaştırmak ve AUS uygulamalarında yol gösterici olmak ise tatmin edici bir sistem tasarımının elde edilebilmesine yönelik devletin politikalar üretmesi, yerel yönetimlerin ulusal AUS mimarisini uyarlamasına yardımcı olacak güvenilir bir metodoloji geliştirilmesi gereklidir. AUS'ta kullanılacak ortak bir veri modelinin geliştirilmesi ve kullanımının benimsenmesi, verilerin değiş-tokuşu ve birlikte çalışabilirliğin temini için standartlarının belirlenerek uygulanması, AUS uygulamalarının sistematik çerçevesinde yaygınlaştırılması için ulusal AUS mimarisinin kullanımının teşvik edilmesi, Türkiye'de ulusal AUS mimarisinin yaygınlaştırılmasında etkili olacak unsurlar arasındadır. Bu çalışmada önerilen model doğrultusunda, ulusal AUS mimarisinin gönüllü kullanımı, AUS paydaşları tarafından sahiplenilmesi ve devlet tarafından ortaya koyulacak özendirme politikaları ve uygulamaları da mimarinin yaygınlaştırılmasına katkı sunacaktır. Mimarinin kullanıcı dostu, kolay



ve pratik bir yazılım aracı ile geliştirilebilmesi ve tüm ilgili paydaşlara sunulması da mimarinin kabulünü ve yaygınlaştırılmasını hızlandıracaktır.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Sorumlu yazar ve ikinci yazar tarafından araştırmanın ilk versiyonu hazırlanmış, tüm yazarlar tarafından düzenlenerek gözden geçirilmiştir.

### **Destek ve teşekkür beyanı**

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

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

### **Kaynakça**

**ARC-IT Architecture Overview.** (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/architecture/architecture.html>

**ARC-IT RAD-IT.** (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/resources/radit.html>

**ARC-IT Service Packages.** (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/servicepackages/servicepackages-areasort.html>

**ARC-IT SET-IT.** (2023). USDoT. <https://www.arc-it.net/html/resources/setit.html>

**AUS TÜRKİYE.** (2022). Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi. In *AUS TÜRKİYE* (Vol. 7). [https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file\\_8-07-numarali-bulten-474.pdf](https://austurkiye.org.tr/uploads/blog/file_8-07-numarali-bulten-474.pdf)

**2010/40/EU Sayılı Direktif,** (2010). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040>

**Belinova, Z., Bures, P., & Barta, D.** (2011). Evolving ITS architecture—the Czech experience. *Modern Transport Telematics: 11th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2011, Katowice-Ustroń, Poland, October 19-22, 2011. Selected Papers 11*, 94–101.

**Bělinová, Z., Bureš, P., & Jesty, P.** (2010). Intelligent transport system architecture different approaches and future trends. *Data and Mobility: Transforming Information into Intelligent Traffic and Transportation Services Proceedings of the Lakeside Conference 2010*, 115–125.

**Berdyorova, I.** (2022). *Intelligent Transport Systems Apps in South Korea. 1*(6). <http://innosci.org/>

**Bodur, M. A.** (2013). *Akıllı Ulaşım Sistemleri* [Yüksek Lisans]. T.C. Bahçeşehir Üniversitesi.

**Borges, H., Knapp, G., Eisenhart, B.** (2001). Development of Canadian Architecture for Intelligent Transportation Systems. *Transportation Research Record 1774, 1*, 80–89.

**Bossom, R.** (2021). *FRAME Architecture- D4.5 Theory of Operations Part 1 – Introduction and Terminology.*

**Cabrera, R. S., & de la Cruz, A. P.** (2018). Public transport vehicle tracking service for intermediate cities of developing countries, based on ITS architecture using Internet of Things (IoT). *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2784–2789.

**Çapalı, B.** (2022). Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi: K-AUS için Öneri. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 9(4), 1249–1254. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1132804>

**Chang, Y.** (2017, November). *Introduction of Korean ITS.* MOLIT. <https://www.slideshare.net/juan71596355/1-molit>

**Chen, X., Yu, L., Guo, J., Quan, Y., Geng, Y., & Gao, Y.** (2003). Development of Beijing Regional Intelligent Transportation System Architecture. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 1*, 560–565. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1252015>

**Chojnacki, B., Kowalewski, M., & Pekalski, A.** (2014). *National ITS Architecture Objectives. 7.*

- Chowdhury, M. R. A., Pol, J., Franklin, C., & Robinson, J. R.** (1998). National Intelligent Transportation Systems (ITS) Architecture Tailoring: An Object-Oriented Approach. *Computing in Civil Engineering*, 782–791.
- Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi.** (2018). *CUMHURBAŞKANLIĞI TEŞKİLATI HAKKINDA CUMHURBAŞKANLIĞI KARARNAMESİ* (Vol. 30474, pp. 1–301). Cumhurbaşkanlığı. <https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/19.5.1.pdf>
- Das, D., Tom, S., & Honiball, J.** (2016). *Futuristic Intelligent Transportation System Architecture for Sustainable Road Transportation in Developing Countries*. <https://core.ac.uk/download/pdf/222967362.pdf>
- Day, J., & Zimmermann, H.** (1984). The OSI reference model. *Proceedings of the IEEE*, 71, 1334–1340. <https://doi.org/10.1109/PROC.1983.12775>
- Fernández González, M. I.** (2006). *Development of the Regional Intelligent Transportation Systems Architecture for the San Juan Metropolitan Area* [Master of Engineering]. University of Puerto Rico.
- FRAME Architecture.** (2023). <https://frame-online.eu>
- FRAME NEXT.** (2021). <https://frame-next.eu>
- Frotscher, A., & Scheider, T.** (2008). Coopers Project: Development of An Its Architecture FOR CO-Operative Systems on Motorways. *15th World Congress on Intelligent Transport Systems and ITS America's 2008 Annual Meeting/ITS America/ERTICO/ITS Japan/TransCore*.
- Fünfroeken, M., Otte, A., Vogt, J., Wolniak, N., & Wieker, H.** (2018). Assessment of ITS architectures. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(9), 1096–1102. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5310>
- Graf von Malotky, N. T., & Martens, A.** (2019). Analyzing the usage of the classical ITS software architecture and refining it. *Intelligent Tutoring Systems: 15th International Conference, ITS 2019, Kingston, Jamaica, June 3–7, 2019, Proceedings 15*, 40–46.
- Hall, R. W., & Thakker, V.** (1998). *California System Architecture for Intelligent Transportation: Models for Transportation Systems Management*. <https://escholarship.org/content/qt6660p0zj/qt6660p0zj.pdf>
- HARTS.** (2017). *Harmonized Architecture Reference for Technical Standards*. Erişim tarihi 18 Nisan 2023, <http://htg7.org/index.html>
- Hickman, M., Weissenberger, S., & Dahlgren, J.** (1996). Assessing The Benefits Of A National ITS Architecture. In *The Third World Congress on Intelligent Transportation Systems*. <https://escholarship.org/uc/item/36d5q0sc>
- ITS Handbook Japan 2002-2003.** (2002). <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/2002HBook/section5/5-2e.html>
- JSAE.** (2022). *ITS Standardization Activities of ISO/TC 204*. [https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its\\_2022\\_en.pdf](https://www.jsae.or.jp/01info/org/its/its_2022_en.pdf)
- Karayolları Genel Müdürlüğü.** (2016). *2017-2021 Stratejik Plan*. [http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/AePTs+KGM\\_2017-2021\\_Plani.pdf](http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/AePTs+KGM_2017-2021_Plani.pdf)
- Karkhanis, P., Van Den Brand, M. G. J., & Rajkarnikar, S.** (2018). Defining the C-ITS Reference Architecture. *Proceedings - 2018 IEEE 15th International Conference on Software Architecture Companion, ICSA-C 2018*, 148–151. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C.2018.00044>
- Karoń, G., & Mikulski, J.** (2012). Problems of ITS architecture development and its implementation in upper-silesian conurbation in Poland. *Telematics in the Transport Environment: 12th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2012, Katowice-Ustroń, Poland, October 10–13, 2012. Selected Papers 12*, 183–198.

- Ke, Z., Tong-Yan, Q. I., Dong-mei, L. I. U., Chun-yan, W., Rui-Hua, H. E., & Hao, L. I. U.** (2005). The latest achievements of Chinese national ITS architecture. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 5(5), 6.
- Lee, S.** (2009). A Study on Revising the National ITS Architecture. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 29(2D), 175–181.
- Liu, H., Zhang, K., Wang, X., Qi, T., Wang, C., Liu, H., Zhang, K., Wang, X., Qi, T., & Wang, C.** (2005). Effective and Sustainable Development of Chinese National Intelligent Transportation System Architecture. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 46, 46–56.
- Masaki, I., Demir, R., & Crawley, E. F.** (1996). *System Design for Intelligent Transportation Systems*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/566400>
- McGregor, R. V.** (2003). *Development of an intelligent transportation system architecture for a medium sized city* [Dissertation/Thesis]. University of Calgary (Canada).
- McQueen, B., & McQueen, J.** (1999). *Intelligent transportation systems architectures*.
- Miles, J. C.** (2014). Intelligent Transport Systems: Overview and Structure (History, Applications, and Architectures). In *Encyclopedia of Automotive Engineering* (pp. 1–16). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118354179.auto166>
- MLIT.** (2012). *System Architecture*. <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/topindex/SystemArchitecture.pdf>
- MOLIT.** (n.d.). *Intelligent Transport Systems in Korea*. MOLIT. Erişim tarihi 12 Nisan 2023, [http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf\\_file/ITS%20brochure.pdf](http://www.molit.go.kr/upload/cyberJccr/pdf_file/ITS%20brochure.pdf)
- MOLIT.** (2016). *ITS History and Current Status*. [https://intl.its.go.kr/en/02\\_03](https://intl.its.go.kr/en/02_03)
- Perallos, A., Hernandez-Jayo, U., Onieva, E., & Zuazola, I. J. G.** (2015). *Intelligent transport systems: technologies and applications*. John Wiley & Sons.
- Review of European, and World-Wide, State of the Art ITS Architecture Activities.** (2021). <https://files.austriatech.at/f/8fb29e7cf5944fe8b279/?dl=1>
- Rodríguez, D. A., Muñoz-Loustaunau, A., Pendleton, T., & Sussman, J. M.** (1998). Regional intelligent transportation systems architectures and the competitive region. *Transportation Research Record*, 1651(1), 1–7.
- Rødseth, Ø. J.** (2011). A maritime ITS architecture for e-navigation and e-maritime: Supporting environment friendly ship transport. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 1156–1161. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6082963>
- Román, I., Madinabeitia, G., Jimenez, L., Molina, G. A., & Ternero, J. A.** (2013). Experiences applying RM-ODP principles and techniques to intelligent transportation system architectures. *Computer Standards and Interfaces*, 35(3), 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.12.004>
- Saffari, E., Golroo, A., Mesbah, M., & Ashna, M.** (2018). *A methodology to develop an ITS architecture for developing countries: Case study of Iran*.
- Salazar-Cabrera, R., & Pachón de la Cruz, Á.** (2018). Design of urban mobility services for an intermediate city in a developing country, based on an intelligent transportation system architecture. *Applied Computer Sciences in Engineering: 5th Workshop on Engineering Applications, WEA 2018, Medellín, Colombia, October 17-19, 2018, Proceedings, Part II* 5, 183–195.
- Sejdini, X., & Nechoska, D. K.** (2022). *Designing The National Architecture Of Intelligent Transport Systems*.
- Smith, B. L.** (1998). Supporting demand responsive transit operations: a prototype system designed using the national ITS architecture. *ITS America 8th Annual Meeting and Exposition: Transportation Technology for Tomorrow: Conference Proceedings Intelligent Transportation Society*.

- Sweeney, W., & Venz, J.** (2014a). *National ITS Architecture: Context and Vision*. www.austroroads.com.au
- Sweeney, W., & Venz, J.** (2014b). *National ITS Architecture: ITS Business Architecture*. www.austroroads.com.au
- Talih, Ö., & Tektaş, N.** (2023). Bir Hizmet Olarak Hareketlilik-MaaS Perspektifi ve Türkiye Analizi. *Journal*, 7(2), 431–463.
- T.C. Başbakanlık.** (2002). *e-Türkiye Girişim Eylem Planı (Taslak)*. [http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/Yayinlar/020800\\_E-TurkiyeEylemPlani.pdf](http://www.bilgitoplumu.gov.tr/Documents/1/Yayinlar/020800_E-TurkiyeEylemPlani.pdf)
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.** (2020). *Akıllı Ulaşım*. <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/Ulasim.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı.** (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*. [https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On\\_Birinci\\_Kalkinma\\_Planı-2019-2023.pdf](https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Planı-2019-2023.pdf)
- T.C. Cumhurbaşkanlığı.** (2022). *2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/11/2023-Yili-Cumhurbaşkanlığı-Yıllık-Programı.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.** (2022). *1 Nolu Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi*. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/19.5.1.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2014). *Ulusal AUS Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016)*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-strateji-belgesi-eki-eylem-plani-2014-2016.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2017). *2017-2020 Ulusal Genişbant Stratejisi ve Eylem Planı*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/ulusal-genisbant-stratejisi/ulusal-genis-bant-stratejisi-ve-eylem-plani-2017-2020-b9d0c25d-328c-4eda-a2aa-d374ffacd91a.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2018). *3 Ülkenin AUS Mimarisinin Karşılaştırma Raporu*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/aus-sep-mimari.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2019). Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik. In *T.C. Resmi Gazete* (Issue 30762). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190502-5.htm>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2020). *Ulusal AUS Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı*. <https://hgm.uab.gov.tr/uploads/pages/akilli-ulasim-sistemler-aus/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2021). *Uydu Destekli Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Otomasyon Projesi*. Erişim tarihi 18 Nisan 2023, <https://hgm.uab.gov.tr/projelerimiz>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2022a). *T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan 2019-2023*. <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/uab-stratejik-plani-guncellenmis-versiyon-16-09-2021.pdf>
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2022b). *2021 Yılı Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Faaliyet Raporu*. [http://www.sp.gov.tr/upload/xSPRapor/files/qedG4+UAB\\_2021\\_FR.pdf](http://www.sp.gov.tr/upload/xSPRapor/files/qedG4+UAB_2021_FR.pdf)
- T.C. Başbakanlık.** (2002). *e-Türkiye Girişimi I. Ara Rapor*.
- Tierolf, J. W.** (1999). The European ITS Architecture, almost there: How to Implement it. *PROCEEDINGS OF 6TH WORLD CONGRESS ON INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (ITS), HELD TORONTO, CANADA, NOVEMBER 8-12, 1999*.
- Vahidi, H., & Sayed, T.** (2003). Using the Canadian ITS architecture for evaluating the safety benefits of intelligent transportation systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(6), 970–980. <https://doi.org/10.1139/103-032>
- Yang, B., & Xie, C.** (2000). The Functional Architecture of ITS Applied to Railway. In *Traffic and Transportation Studies (2000)* (pp. 887–892).

**Yang, Z., Wang, X., & Sun, H.** (2013). Study on urban its architecture based on the internet of things. *LTLGB 2012: Proceedings of International Conference on Low-Carbon Transportation and Logistics, and Green Buildings*, 139–143.

**Yokota, T., & Weiland, R. J.** (2004). *ITS System Architectures For Developing Countries*. <https://www.ttsitalia.it/file/Libreria/Worldwide/ITS%20System%20Architectures.pdf>

Derleme Makale

## Otonom Gemilerin STCW Sözleşmesindeki Mevcut Düzenlemelere Etkisi

İbrahim Feyzioğlu<sup>1,\*</sup>, Murat Yorulmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kocaeli University, Institute of Social Science, Maritime Business Management, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup> Kocaeli University, Faculty of Maritime, Kocaeli, Türkiye

\*Correspondence: [ibrahimfeyzioglu41@gmail.com](mailto:ibrahimfeyzioglu41@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1297852

**Özet:** Otonom gemilerin uzaktan kontrol durumunda gemi üzerinde bulunmadan gemiyi uzaktan kontrol edecek olan kişilerin gemi insanı olarak kabul edilip edilemeyeceği, eğer gemi insanı olarak kabul edilecekler ise nasıl tanımlanabilecekleri, bu kişilerin hangi eğitim ve sertifikalandırılmaları tabi olmaları gerektiği, ayrıca uzak kontrol merkezlerinde çalışacak kişilerin uluslararası sefer yapacak gemilerin sevk ve idaresini yapacaklarından ötürü bu kişilerin tanımlarına, eğitim ve yeterlik şartlarına uluslararası standart getirilme ihtiyacı bulunup bulunmadığı konuları araştırmanın ana problemi olmuştur. Bu çalışmanın amacı, otonom gemilerin uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel gemi insanların durumunun STCW-Gemiadamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Standartları Hakkında Uluslararası Sözleşmesi (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping Convention*) kapsamında incelenmesidir. Sonuç olarak, STCW' nin uzak kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel gemi insanların eğitim, belgelendirme ve standardizasyonunu tam olarak karşılayamadığı, tanım eksiklikleri içerdiği, otonom gemilerin uzaktan kontrolü bağlamında yeni bir sözleşme ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu kişiler için yeni bir tanım önerisi sunulmuştur. Çalışmanın bu yönüyle literatüre önemli bir katkı sunacağı düşünülmektedir. Bununla beraber geleceğin denizcilik eğitimleri ile ilgili tespitler yapılarak öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom gemi, otonomi seviyesi, gemi insanı, uzaktan kontrol, STCW Sözleşmesi

## Impact of Autonomous Ships on Current Regulations in the STCW Convention

**Abstract:** In the case of remote control of autonomous ships, whether the people who will remotely control the ship without being on the ship can be considered as seafarer, if they are to be accepted as seafarer, how they can be defined, what training and certification these people should be subject to, as well as the people who will work in remote control centers who will make international voyages. The main problem of research is whether there is a need to bring international standards to the definitions, training and qualification requirements of these people since they will be managing and managing the ships. The aim of this study is to examine the situation of seafarers who are likely to work in remote control centers of autonomous ships within the scope of STCW- International Convention on Training, Certification and Watchkeeping Standards of Seafarers. As a result, it has been determined that STCW could not fully meet the training, certification and standardization of the ship's people who are likely to work in the remote control center, it contains definition deficiencies, and there is a need for a new convention in the context of remote control of autonomous ships. Also, a new definition proposal was presented for these people. It is thought that this study will make an important contribution to the literature in this respect. In addition, some suggestions have been made by making determinations about the future maritime trainings.

**Keywords:** Autonomous ship, level of autonomy, seafarer, remote control, STCW Convention

## 1. Giriş

Gelişen teknoloji hem denizcilik sektörünü hem de deniz ticaretini etkilemektedir. Günümüzde kullanımı her sektörde yaygınlaşan yapay zekâ ve akıllı sistemler, hızlı-kesintisiz iletişim araçlarının yaygınlaşması ve siber güvenlik uygulamaları deniz taşımacılığının mutlak aracı olan gemileri de etkileyerek denizcilik sektörü içinde yer bulmaya başlamıştır. Otonom teknolojiler günümüzde neredeyse tüm endüstri alanlarında kullanılmakta ve hayatı kolaylaştırmaktadır. Geleneksel gemilerin de gelişen teknolojiden etkilenecek, üzerinde daha çok dijital ekipman bulunduran “dijitalleşmiş gemiler”, otonom teknolojinin uyarlandığı ya da yeni inşa “otonom gemiler” ve bu değişimden etkilenmeyecek yoluna bir süre daha devam edecek olan “geleneksel gemiler” olacaktır.

Otonom gemi teknolojisinin, aynı anda birden çok geminin uzaktan idaresi ile işletim giderlerinin azaltılması, mürettebat maliyetlerinin düşürülmesi, daha düşük emisyon seviyeleri, deniz kazalarında insan kaynaklı hataların azaltılması, deniz emniyeti, nakliye ve yük güvenliğinin artması, gibi önemli faktörlerden ötürü ticari gemilerde gelecekte mutlaka kullanılacağı değerlendirilmektedir (Deketelaere 2017: s.20-22; Pense, 2018: s.11; Ece, 2018: s.284-286; Kara, 2020: s.28-29; Yorulmaz ve Karabulut, 2020: s.43-45). Deniz taşımacılığında insansız, otonom, uzaktan kumandalı yada akıllı gemiler olarak da ifade edilen otonom kabiliyete sahip gemilerin önemi her geçen gün artmaktadır (Yorulmaz ve Karabulut, 2020). Birçok ülkede yapılan çalışmalar da bunun göstergesidir. Otonom gemiler, birkaç yıl öncesine kadar tartışma ve proje aşamasında iken günümüzde denizlerde test seferleri yapmakta ve test sonuçlarının yayınlandığı makaleler literatürde yerlerini almaktadır. Otonom teknolojinin, denizcilik endüstrisine entegre edilmesi, aynı zamanda gelişen yapay zekâ ve robot teknolojilerinin ciddi bütçeler harcanarak yapılan yeni projelerde kullanılması ile otonom gemilerin deniz ticaretine girişinin tahmin edilenden çok daha hızlı olacaktır.

Dünya üzerinde uluslararası deniz ticaretinin yapılabilmesi için ülkeler ortak standartlar belirleme ihtiyacı duymuşlar ve bu ihtiyaçlara göre uluslararası antlaşmalar yapmışlardır. Uluslararası denizciliği düzenleyen birçok hukuki düzenleme ve uluslararası sözleşme mevcuttur. Bu düzenleme ve sözleşmeler gemilerde insan faktörü gözetilerek hazırlanmış sözleşmelerdir. Uluslararası Denizcilik Örgütü (*International Maritime Organization-IMO*)’ da yapılan ve halen devam eden çalışmalardan, birçok uluslararası denizcilik sözleşmesinin otonom gemilerden etkilenecektir. Otonom ticaret gemisi konseptinin uluslararası sözleşmelerde yer bulması biraz daha zaman alacak, bu sözleşmelerde yapılacak değişiklikler yeterli görülmemekle otonom gemiler konusu yeni sözleşmeler de doğuracaktır. Ancak, gelişen teknoloji ile uzaktan kontrol ve yapay zekaya dayalı otonom sistemler insanın birebir yaptığı işlerde insanın yerini almaya başlamıştır. Günümüzde, geleneksel gemiler olarak nitelendirdiğimiz konvansiyonel gemilerde geminin sevk ve idaresi her ne kadar teknolojik sistemlerden (Elektronik Harita Gösterim ve Bilgi Sistemi - *Electronic Chart Display and Information System - ECDIS*, Küresel Konumlandırma Sistemi - *Global Positioning System-GPS*, Otomatik Radar Çizim Yardımcısı - *Automatic Radar Plotting Aid-ARPA*, OTOPILOT, Küresel Denizcilik Tehlike ve Güvenlik Sistemi - *Global Maritime Distress Safety System-GMDSS* Sistemleri, vb..) yardım alınarak yapılsa da asıl kontrol ve sorumluluk gemi insanlarında diğer bir ifade ile kontrol insan elinde bulunmaktadır. Çalışmamızda IMO’ nun en önemli denizcilik sözleşmelerinden olan Gemiadamlarının Eğitim, Belgelendirme ve Vardiya Standartları Hakkında Uluslararası Sözleşmesi (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping-STCW 1978*) sözleşmesi otonom gemiler bağlamında incelenmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında otonom gemi çalışmalarında otonom gemi tanımı yapılmaya çalışılırken ayırımın gerekli olduğu durumlarda otonomi seviyelerinin derecelendirildiği ve tanımlar içerisinde otonomi seviyeleri geçtiği tespit edilmiştir. Bizim düşüncemize göre de ileride yapılacak olası ortak bir otonom gemi tanımında geminin ne derece otonom olduğunun o geminin tanımlandırılmasına etki edeceği yönündedir. Ancak, otonom bir geminin yapacağı sefer esnasında zaman zaman tam otonom veya uzaktan kontrol merkezi kontrolü altında olacağı, bazı durumlarda ise gemi üzerinde acil durumlar için bulunan personel tarafından o an için insan müdahalesine maruz kalacağı durumlarda geminin sahip olduğu otonomi derecesinin değişeceği fakat geminin sahip olduğu teknolojik sistemler ve kabiliyeti açısından genel olarak yine otonom gemi sınıfına tabi olacaktır. Çalışmada, otonom gemilerin kavramsal çerçevesi içerisinde IMO’ nun Deniz Emniyeti Komitesi (*Maritime Safety Committee-MS*)

çalışmalarında kabul edilen Deniz Otonom Suüstü Gemisi (*Maritime Autonomous Surface Ships-MASS*)’ın geçici tanımı ve sınıflandırması kullanılmıştır. Ayrıca, MASS’ da geçen uzaktan kontrol durumu ve gelecekte kurulması öngörülen uzaktan kontrol ya da kara kontrol merkezleri ve çalışanlarının hukuki statüleri ile STCW sözleşmesinde geçen kaptan tanımının otonom gemi insanlarına atfedilip edilemeyeceği konusu işlenmiştir.

Mevzuat gereği gemilerde çalışan gemi insanları gemi adamı olarak ifade ediliyor olsa da bu çalışma kapsamında “gemi insanı” kavramı kullanılmıştır. Uzaktan kontrol durumunda gemi üzerinde bulunmadan gemiyi uzaktan kontrol edecek olan kişilerin gemi insanı olarak kabul edilip edilemeyeceği, eğer gemi insanı olarak kabul edilecekler ise nasıl tanımlanabilecekleri, bu kişilerin hangi eğitim ve sertifikalandırılmaları tabi olmaları gerektiği, ayrıca uzak kontrol merkezlerinde çalışacak kişilerin uluslararası sefer yapacak gemilerin sevk ve idaresini yapacaklarından ötürü bu kişilerin tanımlarına, eğitim ve yeterlik şartlarına uluslararası standart getirilme ihtiyacı bulunup bulunmadığı konuları araştırmanın ana problemi olmuştur. Bu kapsamda, otonom gemi teknolojisinde yaşanan gelişimlerin konvansiyonel gemilerin durumu ile göz önünde bulundurularak olası uzaktan kontrol merkezleri ve bu merkezlerde çalışması muhtemel kişilerin mevcut STCW sözleşmesi kapsamında değerlendirilip değerlendirilemeyeceği konuları araştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, otonom gemi derecelendirilmelerinde bahsedilen uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel gemi insanların durumunun STCW sözleşmesi kapsamında incelenmesidir. Bu çalışmada, otonom gemilerin uzak kontrol merkezlerinde görev yapacak kişiler tarafından ticari seferlerde kullanılmasının uluslararası denizcilik sözleşmelerinden STCW sözleşmesine etkilerinin araştırılmasının seçilme sebebi, mevcut hukuki durumda ve öğretilerde hem de uygulamada gemilerde insan unsurunun denize elverişlilik açısından belirleyici bir unsur olarak görülmesi ve STCW sözleşmesinin gemilerde görev yapan gemi insanların eğitim, belgelendirme ve vardiya tutma standartlarına ilişkin mevcut olan çeşitli hukuk düzenleri arasında yeknesaklığın sağlanması için düzenleyici hükümler içermesinden kaynaklanmaktadır. Mevcut durumda bu eğitimler ve sertifikalar STCW hükümlerine göre gemi insanları için düzenlenmektedir. Ayrıca, otonom gemilerin derecelendirmeleri incelendiğinde, bu gemiler tamamen insansız derecede olsalar dahi bir uzak kontrol durumu olacaktır. Başka bir deyişle insan unsuru uzaktan da olsa otonom gemilerin kontrolünde belirleyici bir etken olacaktır. Bu durumda, otonom gemileri uzaktan kontrol edecek olan muhtemel uzak kontrol merkezi çalışanları için de çeşitli eğitim, yeterlik ve bu yeterliklerin ispatı olarak düzenlenmiş sertifikalar gerekecektir. Mevcut STCW sözleşmesi bu açıdan incelendiği zaman açık hükümler içermemektedir. Bu sebeplerden ötürü, uzak kontrol merkezlerinde çalışacakların durumu mevcut STCW hükümlerine göre eğitim belgelendirme ve sertifikalandırılmaları ile ilgili maddeler çalışmada irdelenmiştir. Çalışmada, otonom gemiler ve gemi insanları ile ilgili yapmış olduğu değerli bilimsel çalışmalarından ötürü konunun uzmanı olan, Doç. Dr. Murat Yorulmaz ile yapılan görüşmede, otonom gemileri uzak kontrol merkezlerinden sevk ve idare edecek kişiler için henüz literatürde mevcut ortak bir tanım olmadığından çalışmada tanım karmaşası yaratmaması için “otonom gemi insanı” (M. Yorulmaz, şahsi görüşme, Ekim 06, 2022) olarak ifade edilmiştir. Bu şekilde hem çalışmada tanım karmaşası ortadan kaldırılması hem de bu kişilerin tanımlanması için literatüre bir katkı sağlanması amaçlanmıştır. Ayrıca, bu çalışmanın ileride otonom gemiler ve otonom gemi insanların durumları hakkında yapılacak çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Çalışmanın hazırlığında ilk olarak problemin tespiti yapılmış ve konu hakkında yapılan kapsamlı literatür araştırması sonucu veriler toplanmıştır. Elde edilen verilerin temininde, otonom gemiler hakkında IMO’ da yapılan kapsam belirleme çalışmalarına, IMO ve MSC’ nin internet kaynaklarından ulaşılarak İngilizce’ den çevrilerek çalışmaya eklenmiştir. Ayrıca, STCW sözleşmesinin orijinal ve Türkçe metinleri veri temininde kilit rol oynamıştır. Otonom gemiler hakkındaki diğer bilgiler, şimdiye kadar yayımlanmış yerli ve daha çok yabancı özgün kitap, makale ve dergiler, ulusal ve uluslararası yayın indeksleri taranarak temin edilmiş ve derlenmiştir. Tüm bu kaynaklardan elde edilen veriler bir kez daha uluslararası kaynaklar ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve çalışmaya entegre edilmiştir.

Bu çalışma üç bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde, otonom gemiler olarak tabir edilen gemilerin kavramsal çerçevesi, otonom gemiler ile ilgili yapılmış projeler, gemi ve otonom gemi tanımları ile otonom gemilerin sınıflandırılması incelenmiştir. Otonom gemilerin kavramsal çerçevesi hakkında değerlendirme yapabilmek için sözleşmede geçen gemi tanımı ve IMO’ nun MSC



çalışmalarında kabul edilen geçici otonom gemi tanımları incelenmiş, bir geminin denize elverişlilik koşullarının neler olduğu, mevcut personelle donatma şartları ve seyir-vardiya kurallarının bu tür gemilere uygulanabilirliği konuları sözleşme hükümleri ve otonom gemiler açısından incelenmiştir. Daha sonra, IMO’ da MSC’ nin Kapsam Belirleme Çalışmalarında (*Regulatory Scoping Exercises-RSE*) yapmış olduğu geçici otonom gemi tanımı ve derecelendirmeleri, Lloyd’s Register (2017) ’ın yapmış olduğu “Otonomi Düzeyleri”, ayrıca Schiavetti vd (2017)’ nin “Otonom suüstü araçlarının temel otonomi düzeyleri” ile ilgili hazırladıkları ölçek ve Rødseth ve Nordahl (2017)’ in “Ticari gemiler için önerdikleri otonomi düzeyi” konuları otonom gemilerin sınıflandırılması başlığı altında ele alınmıştır.

İkinci bölümde, STCW sözleşmesinin yapısı, içeriği ve bölümleri ile sözleşmenin otonom gemiler ile ilgili hükümleri, sözleşmenin içerdiği tanımlar, kapsam, haklar, yetkiler ve sorumluluklar ile denize elverişlilik başlıkları altında ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde ise çalışmanın literatür araştırması yer almaktadır. Bu bölümde otonom gemiler ve STCW sözleşmesi ile ilgili ulusal ve uluslararası indeksler taranarak alanyazın taraması sonucu elde edilen veriler incelenerek konu hakkında farklı araştırmacıların görüş ve tespitlerine yer verilmiştir.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise çalışma özetlenerek mevcut STCW sözleşmesinde geçen tanımların ve maddelerin yorumu yolu ile uzak kontrol merkezi çalışanlarının durumunun tespitinin mümkün olup olmadığı incelenmiştir. Ayrıca, STCW sözleşmesi hükümlerinin hızla gelişen teknolojik gelişmelerden doğan ihtiyacı karşılamasının mümkün olup olamayacağı incelenmiş, gelecekte nitelikli gemi insanlarının yetiştirilmesi için denizcilik eğitimlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi vurgulanarak Ülkemizin ihtiyacı olduğunu değerlendirdiğimiz otonom gemi test alanı oluşturulması gibi çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Bununla beraber bu çalışmanın benzer çalışmalardan farkı açıklanmış ve gelecekte konu ile ilgili araştırma yapacak araştırmacılara yön vereceğini düşündüğümüz tavsiye ve öneriler yapılmıştır.

## 2. Otonom gemilerin kavramsal çerçevesi

Endüstri 4.0 devrimi ile otonom sistemlerin ve yapay zekâ teknolojilerinin gelişimi makinelerin birbirleri ile bağlantılarının sağlanarak yük taşıyacak bir ticaret gemisine entegre edilmesi ile otonom bir ticaret gemisinin ortaya çıkarılması arayışını doğurmuştur. Literatürde otonom gemiler ile ilgili yapılan çalışmaları incelediğimiz zaman, ilk başlarda küçük boyutlarda, daha çok askeri ve bilimsel araştırmalar yapmak amacı ile tasarlanıp kullanılmışlardır.

Otonom gemi kavramı ilk başta akla insansız gemiyi çağırırsa da yapılan çalışmalardan gördüğümüz kadarıyla otonom sistemlere sahip bir gemiyi insansız gemi olarak nitelendirmek zor olacaktır. Otonom gemiler ile ilgili yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere bizim de katıldığımız ortak nokta, bir geminin otonom gemi olup olmadığının tespiti geminin sahip olduğu otonom sistemlerin gemiyi hangi derecede insan etkileşiminden uzaklaştırdığına göre tespit edilebileceğidir.

Otonom gemi kavramını tam olarak açıklayabilmemiz için öncelikle “otonom, otonomi ve otomasyon” un tanımlarını incelemek gerekir. Daha sonra da STCW Sözleşmesinde geçen “gemi” (açık deniz gemisi) tanımını inceleyerek “otonom geminin” çalışmamızda neyi ifade ettiği açıklanmıştır. Türk Dil Kurumu (TDK), “Otonom” kelimesinin sözlük anlamını, “özerk”, “otonomi” yi ise “özerklik” olarak tanımlanmıştır (TDK, 2022). “Özerklik” ise “Bir topluluğun, bir kuruluşun ayrı bir yasaya bağlı olarak kendi kendini yönetme hakkı, muhtariyet” (TDK, 2022) olarak tanımlanmıştır. Diğer bir ifade ile otonomi, kendi kendini yönetme niteliği ya da durumu dur. “Otomasyon” dilimizde “özişler” başka bir deyişle “Endüstride, yönetimde ve bilimsel işlerde insan aracılığı olmadan işlerin otomatik olarak yapılması” demektir (TDK, 2022). Ancak, otonomiye ticari bağlamda tanımlarken bazı özerklik dereceleri olacak ve bu özerklik dereceleri bazı değişkenlere bağlı olacaktır. Bu değişkenler, yapılan işin karmaşıklığından yapay zekâ ve makinenin insan etkileşimine hangi derecede ve işin hangi etaplarında insan etkileşimine maruz kalıp kalmadığına göre değişiklik gösterecektir. Özerklik derecelerine, çalışmanın otonom gemilerin derecelendirmeleri bölümünde geniş olarak değinilecektir. Gemi’ nin ise uluslararası sözleşmelere göre farklı tanımları bulunmaktadır. Çalışmamız STCW Sözleşmesi ile ilgili olduğu için STCW’ de geçen gemi tanımı incelenmiştir. Sözleşmede, açıkça bir gemi tanımı bulunmamaktadır. Bu durum her ne kadar eleştirilse de STCW Sözleşmesi, Madde II, Tarifler (g) “Açık deniz gemisi” tanımı yapılmıştır. Buna göre “Açık deniz gemisi”, *münhasıran iç*

*sularda, mahfuz sularda veya liman kurallarının uygulandığı alanlarda veya bunların çok yakınında çalışanların dışındaki gemileri;*” (Resmî Gazete, 2003) olarak tarif edilmiştir. Sözleşmenin kabul yılı itibarı ile otonom gemi ya da otonomi tanımlarının bulunmaması normaldir. Çünkü bu kavramlar daha yeni kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır ve hala ortak bir tanımı bulunmamaktadır. Sözleşmede geçen açık deniz gemisi tanımını incelediğimiz zaman otonomiden bahsedilmediği ve daha genel bir tanım içerdiği aşıkardır ancak otonom gemiyi açıkça tanım dışı bıraktığından da bahsedemeyiz. Bu sebeple otonom gemilerin sözleşmede geçen açık deniz gemisi tanımı içerisinde kalmaktadır. Otonom gemiler literatürde farklı araştırmalarda bazen beraber ya da ayrı ayrı olarak hem otonom gemi hem de insansız/mürettebatsız gemi olarak bahsedilmiştir. Çalışmamızda otonom gemiden kastımız IMO’ nun kapsam belirleme çalışmalarında yapmış olduğu geçici otonom gemi (MASS) tanımında bahisle belirtilen derecelendirmelerine göre zaman zaman insansız ve bazen uzaktan kumandalı da olsa tek tanım içerisinde beraber olarak otonom gemi olarak ifade edilmiştir.

Her ne kadar günümüzde tam otonom ya da insansız gemiler olarak ifade ettiğimiz gemilerin geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapıyor olsa da aynı zamanda bu gemilerin bir şekilde sürekli olarak uzaktan kontrol merkezlerinin denetim ve gözetimi altında bulunması ya da üzerinde minimum sayıda bulundurulacak sadece gerekli durumlarda sisteme müdahale edecek personel olması gerekecektir. Bunun sebebi çok yüksek meblağlar ile tasarım ve inşa edilecek ve aynı zamanda belirli bir değer taşıyan yükün taşınmasına aracılık edecek bir deniz aracının tamamen insan denetimi dışı bırakılarak tüm sorumluluğun ve riskin insan etkileşiminden uzak bir yapay zekaya devredilmesinin hem hukuki açıdan hem de içerdiği riskler açısından çok zor olmasındandır. Lützhöft ve Dekker (2002: s.83)’ e göre otomasyon, desteklemesi amaçlanan görevi değiştirir ve yeni hata yolları yaratır dolayısı ile hatanın zamanında algılanarak, sonuçlarına müdahale edilmesini ve düzeltme fırsatlarını geciktirir. Başka bir ifade ile mevcut risk ortadan kalkarken başka yeni riskler getirir. Hali hazırda ortak bir tanımı yapılamamış otonom gemilere insan unsuru problemi açısından hukuki bir meşruiyet kazandırılabilmesi için uzak kontrol merkezleri anahtar bir role sahiptir. Bu sebeple otonom gemiler için yapılan araştırmalarla aynı ivmede uzaktan kontrol merkezleri, yapay zekâ ve bunlara atfedilebilecek sorumluluklar hakkında yapılan araştırma ve çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

Denizcilik endüstrisindeki bu gelişmeler ve gemilerde kullanılan sistemlerin akıllı, otonom ve uzaktan kontrol yardımı ile yapılabilmesi gemilerde istihdam edilen personel sayısını azaltmıştır. Gemilerde insan tarafından yapılan bir işin o iş için dizayn edilmiş akıllı ve yapay zekaya dayalı bir sistem tarafından ifa edilmesi ve insanın karar verme döngüsünden çıkarılması yapılan işin otomasyona devredildiğinin göstergesi olacaktır (Ringbom, 2021: s.5). Bu durumda her ne kadar gemilerde çalışacak insan sayısı azalacak gibi görünse de bu gemilerin uzak kontrol ünitelerinde istihdam edilmesi gereken personel, teknik personel ve bu çalışanların gerekli eğitimleri almaları açısından sektörde yeni bir istihdam yaratacağını savunmaktayız.

## 2.1. Otonom gemi projeleri

Endüstri 4.0 devrimi ile literatüre girmeye başlayan otonomi ve yapay zekâ çalışmalarının zaman içerisinde denizcilik endüstrisinde de kullanılabileceği düşünülmüş ve bu yönde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Dünya çevresinin denizler ile çevrili olması ve uluslararası ticaretin ağırlıklı olarak deniz yolları ile yapılmasından ötürü deniz taşımacılığı endüstrisinin bu yeni teknolojiden yararlanmak istemesinin sektöre getireceği düşünülen faydalar açısından doğal görülmektedir.

Otonom sistemler üzerine şimdiye kadar birçok çalışma yapılmış olsa da otonom gemiler üzerine yapılan çalışmalar günümüzde birbirinden farklı birçok proje ile hızla devam etmektedir. Literatürde geçen şimdiye kadar yapılmış, sonuçlarından yararlanan ve otonom gemilerin gelişimi açısından önemli olduğunu düşündüğümüz belli başlı çalışmalar aşağıda incelenmiştir.

### 2.1.1. Svitzer Hermod

Türkiye’ de ki Sanmar tersanelerinde Rolls-Royce plc. firması için 2016 yılında inşa edilmiş olan 28m uzunluğundaki Svitzer Hermod isimli römorkör Ocak 2017’ de Kopenhag limanı’ ndan uzaktan kontrol edilerek başarılı şekilde kumanda edilmiştir (Rolls-Royce,2016). Yapılan bu operasyonda, gemi üzerinde bulunan sensörler gemi çevresini özel bir yazılım ile tarayarak veriler toplanmıştır. Geminin sensörlerinden toplanan bu veriler uzak kontrol merkezindeki kaptanın monitörüne iletilmiştir. Uzak kontrol merkezinde bulunan kaptana iletilen veriler ışığında kaptan gerekli kumandaları gemi

üzerindeki sisteme iletmış ve bir dizi manevrayı güvenli bir şekilde uzaktan başarı ile gerçekleştirmiştir (Rolls-Royce, 2016).

### 2.1.2. Yara Birkeland

Yara Birkeland projesi, Norveç merkezli YARA ve KONGSBERG firmaları tarafından 2018 yılında başlatılmıştır. Amaç sıfır emisyonlu, elektrik tahrikli ve otonom konteyner gemisini oluşturmaktır. Proje halen devam etmekle birlikte 2022 yılı sonlarında Norveç' in Larvik ve Brevik limanları arasında iç hat taşımacılığa başlaması planlanmaktadır. Projelendirilen bu gemi 79,97m uzunluğunda 14,8m genişliğinde, elektrik tahrikli makinesi olan ve 120TEU (Bir adet yirmilik konteynere eş değer birim-*Twenty-foot Equivalent Unit-TEU*)' luk taşıma kapasitesine sahiptir (Kongsberg, 2022). Yükleme ve boşaltma operasyonları elektrikli vinçler ve ekipmanlar kullanılarak otomatik olarak yapılacaktır. Projeye göre gemide balast tankları bulunmamakta, ancak elektrik tahrikini sağlayacak olan bataryalar kalıcı balast olarak kullanılmıştır. Gemi, ayrıca otomatik demir atma-alma sistemi ile donatılmış, limana yanaşma ve ayrılma manevraları insan müdahalesi olmadan yapılacak ve özel bir rıhtıma ihtiyaç duymayacak şekilde tasarlanmıştır.

### 2.1.3. Revolt

Det Norske Veritas-DNV tarafından 2013 yılında başlatılan, kısa mesafeli deniz taşımacılığı için ve yine Norveç tarafından finanse edilen insansız ve batarya ile çalışan bir kısa mesafe konteyner gemisi projesi için tasarlanan, konsept bir çalışmadır. Bu proje, ilham verici ve yeni bir gemi konsepti olarak duyurulmuştur. DNV, bu projeyi mevcut teknolojiyi geliştirerek, insansız, sıfır emisyonlu, kısa mesafe deniz taşımacılığı için devrim niteliğinde bir konsept olarak açıklamıştır. Projenin amacı, AB sınırları içerisinde artan kara yolu taşımacılığında doğan emisyonun azaltılması için elektrikli gemi makinelerine sahip, insansız diğer bir ifade ile otonom olarak sefer yapılması sayesinde işletme ve bakım maliyetlerinin azaltılarak yıllık 1milyon USD (Amerika Birleşik Devletleri Doları) tasarruf sağlanması olarak düşünülmektedir (DNV, 2013). Proje halen DNV içinde bir araştırma projesi olarak devam etmekte ve kara tabanlı şarj tesislerini ve kapasitelerini içerecek şekilde genişletilmektedir.

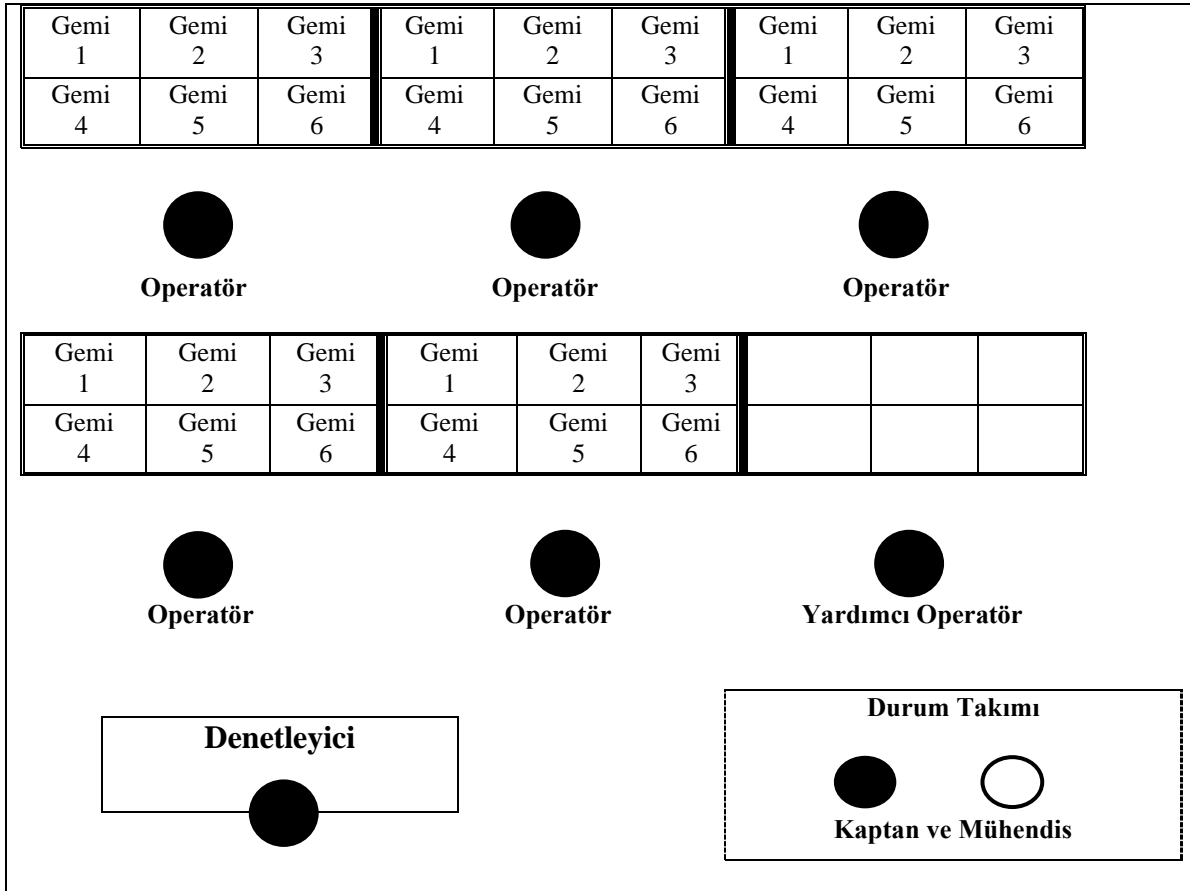
### 2.1.4. Aawa

Gelişmiş Otonom Denizyolu taşımacılığı Uygulamaları Girişimi (Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative-AAWA) projesi, finansmanı Finlandiya tarafından desteklenen, Rolls-Royce ve Fin Ferries firmaları tarafından yönetilen ve otonom gemileri mümkün kılan temel faktörleri ve tasarımları araştıran bir proje olmuştur. 2016 yılında tamamlanan bu kapsamlı proje sonuçlarından IMO ve MSC de yapılan toplantılarda özellikle insan faktörü, yasal konular, uzaktan kumanda etme, eğitim, kurallar, deniz emniyeti ve insansız operasyonlar konularına değinilmiştir. Bu projede dikkat çeken nokta ayarlanabilir ve dinamik otonomi kavramı açıklanırken, Parasuraman vd. (2000: s.287)' in geliştirdiği on seviyeli otonomi derecelendirmesi kullanılmıştır. Buna göre, otomasyon seviyeleri derecelendirilmiş ve otomasyon derecesini ölçmek için de belirli bir sistem oluşturulmuştur. Bu değerlendirme çeşitli kriterlerin eşlik ettiği on derece ile önerilmiştir (Rolls-Royce, 2016). Sonuç olarak, otonom gemilerin kesin olarak otonom ya da uzaktan kontrollü olarak sınıflandırılmasının doğru olmayacağı, gemilerin otonom kabiliyetlerinin seviyesinin derecelendirilerek çeşitli alternatiflerde beraber ya da ayrı ayrı otonom ya da insan karar-desteği ile sefer yapabilecekleri belirtilmiştir. Ayrıca, bu proje sonuçlarından yararlanarak Rolls-Royce firması Svizter Hermod adlı römorkörü Kopenhag limanında uzaktan kumanda ederek projenin gerçekleştirilebilir olduğunu kanıtlamıştır.

### 2.1.5. Munin

Avrupa Komisyonu tarafından desteklenerek 2012-2015 yılları arasında Denizlerde veri ağları ile insansız seyrüsefer (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks-MUNIN) projesi yapılmıştır. Bu çalışmada, kıtalar arasında çalışacak 50.000 ila 75.000DWT arasında olması düşünülen dökme bir kuru yük gemisinin açık denizlerde otonom olarak sefer yapması projelendirilmiştir (MUNIN, 2015a). Belirlenen bu konseptte dar sularda / boğazlarda veya geçişler sırasında değil de yalnızca açık deniz yolculuğu sırasında insansız bir geminin otonom çalışması öngörülmüştür (MUNIN, 2015b).

MUNIN projesinde, gemilerin uzaktan sevk ve idare edildiği merkezler, “Sahil Kontrol Merkezi-Shore Control Center (SCC)” olarak isimlendirilmiş, gemileri izleyenler ise “operatör” olarak belirtilmiştir. Her operatörün altı ekran içeren bir iş istasyonunda aynı anda altı gemiyi izlediği ve kontrol ettiği bir kontrol odası olarak tanımlanmıştır (MUNIN, 2015b: s.10-11). Ayrıca projeye göre geliştirilen organizasyonel yerleşim planında (Şekil 1) bu kontrol merkezlerinin daima insanlı olacak şekilde ve aynı anda birçok gemiyi idare edebilecek şekilde tasarlandığı, her bir operatörün önündeki ekranda aynı anda altı gemi izleyerek sistemden en yüksek fayda sağlanarak işletme maliyetlerinin düşürülmesi planlandığı görülmektedir. Sahil kontrol merkezinin yerleşim planına göre bu merkezde daimi beş operatörün her birinin ekranında aynı anda altı gemi izlediği, bu gemilerin sensörlerinden gelen verilerin operatörlerin bölümlü ekranlarında izlendiği, ayrı bir operatörün yardımcı operatör olarak oluşabilecek acil durumlarda kontrol ekranını devralarak acil durumu analiz ettiği ve bu merkezde durum takımında bulunan kaptan ve mühendislerin görüşleri ile gerekli müdahaleye durum takımı ile karar vermesi düşünülmüştür. Denetleyici ise kontrol merkezinde yapılan işlemleri ana ekrandan izleyerek bu merkezin yönetimini yapacaktır.



**Şekil 1.** MUNIN Projesi Sahil Kontrol Merkezi Organizasyon Yapısı (MUNIN, 2015b: s.11).

### 2.1.6. Nippon Vakfı

Nippon Vakfı tarafından yönetilen, “Tam Otonom Geminin Geleceğini Tasarlamak Projesi”- (Designing the Future of Full Autonomous Ship-DFFAS), NYK (Nippon Yusen Kabushiki Kaisha-NYK) ve NYK Grup şirketleri Japan Marine Science Inc., MTI Co., Ltd. ve Kinkai Yusen Kaisha Ltd.’ de dahil olmak üzere toplam otuz Japon şirketi tarafından Şubat 2020’ de oluşturulmuş bir konsorsiyumdur (NYK, 2022). Bu konsorsiyum, yönettiği tam otonom gemi projesi olan MEGURI 2040 projesi kapsamında Tam Otonom Gemilerin Gösterimi için Ortak Teknolojik Geliştirme Programı’ na katılmışlardır. Bu kapsamda geliştirdikleri otonom ve uzaktan kontrol sistemleri ile seyir kabiliyetleri de dahil olmak üzere birçok özelliği içeren sistemi SUZAKU isimli Japonya Bayraklı konteyner gemisine entegre etmişlerdir. 26 Şubat- 1 Mart 2022 tarihleri arasında Japonya’ nın Pasifik

Okyanusu kısmında bulunan Tokyo Körfezi ile Ise Körfezi arasında yaklaşık 790 kilometrelik bir mesafede hem tam otonom hem de uzaktan kontrol ile seyir yapmasını sağlayarak otonom bir geminin yoğun deniz trafiği içeren bir rotada fiili operasyonunu simüle eden başarılı bir deneme gerçekleştirmiştir (NYK, 2022).

## 2.2. Otonom gemi tanımı

Literatürde, üzerinde mutabık olunmuş ortak bir otonom gemi tanımı olmasa da farklı otonom gemi tanımları yapılmaya çalışılmıştır. Ancak, yapılan tanımlar yapılan çalışmaların özelinde kalıp otonom ticaret gemilerini ve tanımın unsurlarını kapsayıcı olmamıştır.

“Otonom” ve “insansız” terimleri literatürde, bazen aynı şeyi ifade etmek için bazen de farklı alan yazınlarda ayrı ayrı olarak farklı anlamlarla da kullanılmaktadır. Rødseth ve Nordhal (2017) bu terimleri kullanmak için iki ilke önermiştir. Buna göre otonom terimi, bir geminin köprü üstünde gemiyi kullanacak bir köprü üstü ekibi olmadan, önceden tanımlanmış işlemler kümesini gerçekleştirilebilmesi anlamına gelir. Ancak bu, gemide hiç insan bulunmayacağı anlamına gelmemektedir. “İnsansız” terimi ise geminin köprüsünde operasyonları yürütecek veya denetleyecek insan bulunmadığı anlamına gelmektedir. Bu durumda gemide mürettebat olabilir (Rødseth ve Nordhal, 2017, s:7).

Lloyd’s Register klas kuruluşu ise otonom gemilerin tasarımı ve çalışması için otonom seviyelerini AL0’ den AL6’ ya kadar değişen yedi dereceli bir sınıflandırma ile ölçeklendirilmiştir (Lloyds Register, 2017, s:1-2). Bu sınıflandırmayı yaparken tam otonomdan manuel kullanıma kadar çeşitli derecelendirmeleri kullanmışlardır. Ancak, bu ölçeklendirmede belirtilen insan kontrolü ya da müdahalesinin uzaktan kontrolü mü yoksa gemi üzerinden kontrolü ya da müdahaleyi mi kapsadığı belli değildir. Bu açıdan Lloyds’ un yapmış olduğu sınıflandırmanın pratikte pek kullanışlı olduğu gözükmesine de yapılan çalışmadan otonom gemi konseptinin yeni tip bir gemi konsepti olarak kabul edildiği, yeni inşa ve tasarım gemiler için bir rehber görevi görebilecektir.

2016’ nın başlarında Norveç Denizcilik İdaresi, Norveç Kıyı İdaresi, Norveç Endüstrileri Federasyonu ve MARINTEK (Norwegian Marine Technology Research Institute- şimdiki ismi SINTEF Ocean) tarafından kurulan, Otonom gemiler için Norveç Forumu (Norwegian Forum for Autonomus Ships – NFAS) ise yapmış olduğu konferans neticesinde otonom gemilerin yetkililerinin kabul edilebilir risk seviyelerine dayalı kurallar ve gereksinimler belirlemesi gerekliliğine vurgu yapmıştır (NFAS, 2017a). Ayrıca, insanlar ve otonom sistemler arasındaki arayüzlerin kalitesini (diğer bir ifade ile, gerektiğinde “insan döngüsünde” kontrolü) iyileştirmek için “insan faktörüne” artan bir ihtiyaç olduğuna dikkat çekilmiştir (NFAS, 2017a). Bunun sebebi ise tam otonom sistemlerin uzak kontrol merkezinin kontrolüne ve karar desteğine danışmadan sürecin işletilmesini, yürütmesi ve uzak kontrolün döngüye yalnızca sistemin ihtiyaç duyduğu durumlarda müdahil olmasından ve bu durumda doğacak risklerin belirsiz olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma her ne kadar yakın ve kıyasal sefer yapacak gemiler için geliştirilmiş olsa da gelecekte okyanus seferi yapacak gemiler için faydaları olacağı düşünülmektedir (NFAS, 2017b: s:7).

IMO’ nun gerçekleştirdiği Kapsam Belirleme Çalışmalarında, MASS, “Geminin sevk ve idaresinin gemiden mi yoksa gemi dışından mı yapıldığına bakılmaksızın, sistemin veya geminin sevk ve / veya idaresini üstlenmeye izin veren karar destek sistemlerine sahip gemiler” (IMO Docs/MSC 99/5/12, 27.03.2018) olarak yapılmıştır. Ancak, bu ön tanım daha çok genel ve kavramsal manada yapılmıştır. IMO’ nun Mayıs 2021’ de yapılan MSC’ nin 103’ üncü toplantısında alınan kararların yayımlandığı sirkülerde, kendi yetkisi altındaki sözleşmeler için RSE’ yi sonuçlandırmış ve MASS kullanımı için düzenleyici kapsam belirleme çalışmasının sonuçlarını onaylamıştır. Buna göre, RSE’ nin amaçları doğrultusunda "*MASS, değişen derecelerde insan etkileşiminden bağımsız olarak çalışabilen bir gemi*" (IMO Docs/MSC.1/Circ.1638, 03.06.2021) olarak tanımlanmış ayrıca MASS operasyonları için ortak potansiyel boşlukları ve MSC’ nin ilgi alanına giren konular ile potansiyel bağlantılarını belirlemiştir. Buna göre, bir çok “Kaptan, mürettebat veya sorumlu kişi terimlerinin anlamı, uzaktan kontrol istasyonu/merkezi, uzak kontrol operatörün gemi insanı olup olmaması durumu ve terminoloji” temaları yüksek öncelikli sorunlar ve boşluklar olarak tespit edilmiştir (IMO Docs/MSC.1/Circ.1638). MASS ile tespit edilen boşluk ve sorunların giderilmesi için mevcut düzenlemeleri veya SOLAS bölümlerini ayrı ayrı ele almak, tutarsızlıklara ve karışıklığa yol açabileceğinden ayrıca mevcut

düzenlemelerin konvansiyonel gemilere uygulanmasının önündeki potansiyel engelleri artırabileceği için mevcut IMO enstrümanlarını ayrı ayrı değiştirmek yerine SOLAS gibi mevcut bir IMO sözleşmesini değiştirerek zorunlu hale getirilebilecek bir MASS Kodu yapılabileceği düşünülmüştür.

IMO' nun MSC komitesinde yapmış olduğu çalışma ve aldığı kararlar ülkeler açısından bağlayıcılığı bulunmamakla birlikte taraf devletlerin kendi yasa ve mevzuatlarında gerekli düzenleme ve çalışmaları yapmalarını sağlayarak yol gösterici bir rol üstlenmekte ayrıca uluslararası standartlaşmayı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sebeple IMO' da yapılan çalışmalar MASS konusunda ülkelere önemli bir rehberlik sunmaktadır.

Otonom gemi, sahip olduğu yapay zekâ ve sistemler ile dışarıdan insan müdahalesi olmadan veya gerekli durumlarda uzaktan kontrol yardımı ile ya da emniyet tedbiri olarak gerektiğinde müdahale edilebilmesi için üzerinde minimum sayıda bulundurulacak insan ile daha önceden belirlenmiş bir seferi kendi imkanları ile yapabilecek düzeyde olan bir deniz taşıtıdır. Ancak, yukarıda belirttiğimiz tanımı açmamız ve bu duruma bir derecelendirme getirmemiz tanımın açıklayıcı olabilmesi için elzemdir. Şöyle ki, yapay zekâ ile donatılmış bir otonom geminin yapay zekanın işleyişine müdahale edildiği başka bir deyişle dümenine uzaktan ya da üzerindeki insan eli sürüldüğü an itibari ile otonom geminin derecesi değişmiş olacaktır. Bir başka ifade ile, gemi olarak tanımladığımız bir geminin otonom olarak sefere çıktığını düşürsek ve uzak kontrol merkezinin geminin sensörlerinden ya da kameralarından gemiye müdahale edilmesi gerektiğine karar verip otonom sistemin işleyişini by-pass edip kumandayı ele aldığımız da bu gemi otonom gemi tanımından çıkıp uzaktan kontrollü bir gemi vasfı alacaktır. Aynı şekilde gemi üzerinde acil durumlar için buldurulan personelin geminin işleyişine el ile müdahalesi sonucunda da aynı durum oluşacaktır. Bu durumda otonom bir gemi olarak sefere çıkmış olan gemi, gerekli görülen durumlarda kendi sistemi dışından insan müdahalesine uğradığı zaman otonom gemi vasfını yitirerek uzaktan kontrollü ya da kendi köprü üstünden insan kontrolü altında olan bir gemi durumuna haiz olacaktır. İşte bu belirttiğimiz sebeplerden ötürü otonom gemi tanımı içerisinde aynı zamanda otonom geminin derecelerinden de bahsetmemiz gerekmektedir. Otonom gemilerin sınıflandırılmaları bir sonraki başlık altında detaylı olarak incelenmiştir.

### 2.3. Otonom gemilerin sınıflandırılması

Otonom gemiler ile ilgili yapılmış çalışmaların sonuçlarından birçok yeni tanım ve kavram ortaya çıkmıştır. Ortaya atılan tüm tanımlarda belli görevlerin yerine getirilmesi ile ilgili olarak farklı otonomi derecelendirmeleri yapılmıştır.

Bu derecelendirmelerin en önemlileri çalışmamızda da incelediğimiz üzere, IMO' nun yapmış olduğu kapsam belirleme çalışmalarında MASS tanımı ile ilişkilendirerek kullandığı dört seviyeli derecelendirme (IMO Docs, MSC 100/5/6, 12.10.2018), Lloyd's Register (2017)' in yapmış olduğu altı seviyeli ölçekleme, Schiaretta vd (2017, s:230)' nin on dereceli otonomi ölçeği ve Rødseth ve Nordahl (2017: s.3)' in ticari gemiler için önerdikleri sekiz dereceli otonomi düzeyleridir. Çalışmamızda IMO' nun kabul ettiği geçici otonom gemi tanımını referans almamızın sebebi esasen bu çalışmalar esnasında yapılan araştırma ve çalışmaların uluslararası seviyede kabul görmesi, ayrıca IMO' nun regülasyon yapıcı bir örgüt olmasından ötürü ileride düzenlenebilecek yeni bir regülasyon ya da kod kapsamında muhtemelen bu tanımın referans alınacaktır.

IMO' nun yapmış olduğu çalışmalarda esasen otonom gemi dört ayrı derecede sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma içerisinde tamamen insansız olan konsept gemi tipi dördüncü derece olarak ifade edilmiştir. Diğer otonomi derecelerinde ise gemi üzerinde ya da uzaktan kontrol durumlarında insan unsuru yer almaktadır. Buna göre, MASS kavramsal olarak bir gemi olarak nitelendirilmiş ve insan etkileşiminden bağımsız olabileceği belirtilmiştir. Diğer bir ifade ile, I. ve II. otonomi seviyelerinde gemi üzerinde mürettebat bulunacak, zaman zaman bazı sistemler otomatikleştirilebilecektir. II. seviye de gemi başka bir yerden idare edilebilecek ancak mürettebat kontrolü ele almak için gemide hazır bulunacaktır. III. ve IV. derecelerde ise gemi üzerinde gemi insanı bulunmayacaktır. III. derece otonom bir gemi uzak kontrol merkezi üzerinden kumanda edilecek ancak gemi üzerinde insan bulunmayacaktır, IV. derece otomasyonda ise tüm sevk ve idarenin yapay zekâ tarafından yapılacağı öngörülmektedir. Yapılan bu geçici tanımdan I. derece de insan unsurunun bazı sistemleri kontrol edeceği, II. ve III. otonomi derecelerinde geminin sevk ve idaresinde insan unsurunun azaltıldığı ve IV. derecede ise tamamen ortadan kaldırıldığını tespit etmekteyiz. IMO' nun kapsam belirleme

çalışmalarında belirlediği otonomi derecelendirmeleri Tablo 1’ de (IMO Docs, MSC 100/5/6, 2018) verilmiştir.

**Tablo 1.** IMO’ nun Otonomi Derecelendirmeleri (IMO Docs, MSC 100/5/6, 2018).

Derece	Otonomi Seviyesi	Açıklaması
<b>I</b>	Yapay zekâ ile çalışan sistemlerden faydalansa da gemi üzerindeki mürettebat tarafından yönetilen gemiler.	Geminin sevk ve idaresi gemide bulunan gemi insanları tarafından icra edilir. Bu modelde bazı operasyonlar otomatikleştirilebilir ve bazen denetimsiz olabilir ancak gemide bulunan mürettebat kontrolü ele almaya her an hazırdırlar.
<b>II</b>	Gemide mürettebat bulunan uzaktan kumandalı gemi.	Gemi başka bir gemi üzerinden ya da karadan kontrol edilir ve işletilir fakat mürettebat gemide kontrolü ele almak, gemi sistemlerini ve işlevlerini çalıştırmak için hazır bulunmaktadır.
<b>III</b>	Gemide herhangi bir mürettebat bulunmadan karadan ya da başka bir gemi üzerinden uzaktan kontrol edilen gemi.	Gemi başka bir gemi üzerinden ya da karadan kontrol edilir ve işletilir. Gemi üzerinde geminin kontrolünü ele almak, gemi sistemlerini ve işlevlerini çalıştırmak için herhangi bir mürettebat bulunmaz.
<b>IV</b>	Tam otonom gemi.	Geminin işletim sistemi kendi başına kararlar alabilir ve eylemleri belirleyebilir. Karadaki operatör yalnızca sistemler arızalanırsa veya insan müdahalesi istenirse duruma dâhil olur.

İnsansız veya otonom gemilerin otonom derecelerini belirlemek için uluslararası klas kuruluşu olan Lloyds Register’ da Tablo 2’ de görülen 0’ dan 6’ ya kadar kategorize edilmiş yedi dereceli bir ölçek kullanmıştır (Lloyds Register, 2017: s:1-2).

**Tablo 2.** Llyod’s Register Otonomi Derecelendirmeleri (Lloyds Register, 2017).

Otonomi Derecesi	Karar veren	Eylem	İstisnalar
AL0	Manuel	Manuel	Manuel
AL1	İnsan Kontrolü (Gemi üzeri veri)	Manuel	Manuel
AL2	İnsan Kontrolü (Gemi üzeri veri,Harici veri)	Manuel	Manuel
AL3	İnsan Kontrolü (Gemi ortamı)	İnsan Kontrolü (Gemi ortamı)	İnsan Kontrolü (Gemi ortamı)
AL4	İnsan Kontrolü (Geniş Kapsamlı)	İnsan Kontrolü (Geniş Kapsamlı)	İnsan Kontrolü (Geniş Kapsamlı)
AL5	Bazen İnsan Kontrolü	Bazen İnsan Kontrolü	Bazen İnsan Kontrolü
AL6	İnsan Kontrolü Yok	İnsan Kontrolü Yok	İnsan Kontrolü Yok

Schiaretti, Chen ve Negenborn, otonom gemiler ile ilgili yaptıkları çalışmada suüstü araçlarının temel otonomi düzeylerini açıklarken altmış kadar otonom prototip projesini detaylı olarak incelemiş ve Tablo 3’ de ki gibi on dereceli bir ölçek kullanmıştır (Schiaretti vd 2017). Bu ölçek mevcut temel otonomi derecelendirmelerini içermekte ancak kontrolün karadan mı yoksa gemi üzerinden mi olacağı yönünde açık bir bilgi vermemektedir. Yine de yapılan bazı çalışmalarda otonomi düzeylerinin açıklanması açısından bu çalışma bir rehber olarak kullanılabilir.

**Tablo 3.** Schiaretti, Chen ve Negenborn' un on dereceli otonomi ölçeği (Schiaretti ve diğ, 2017).

Otonomi Derecesi	Açıklaması
0	Yalnızca insan
1	İnsana yardımcı sistemler
2	Sistemler ve diğer birimler insana yardım eder
3	Otonom olarak rota takip eden gemi
4	Otonom olarak güzergâh takip eden gemi
5	Sisteme tanımlı insan yetkilendirmesi mevcut
6	Karar destek sistemi insan denetiminde
7	Eylemler insan tarafından denetleniyor
8	Özel durumlar insan tarafından denetleniyor
9	Eylemler, kararlar ve özel durumlar insan denetiminde
10	Tam otonom

Rødseth ve Nordahl (2017, s:3)' da çalışmalarında ticari gemiler için Tablo 4' te görülen bir otonomi düzeyi derecelendirmesi yaparak sekiz dereceli olarak ölçeklendirmiştir. Yapılan bu otonom ticari gemi derecelendirmesini incelediğimiz zaman diğer derecelendirmelere göre daha kapsamlı olduğunu görmekteyiz. Bunun sebebi otonomi düzeylerini açıklarken her bir düzey için ayrı ayrı derecelendirme kullanmalarından ve operasyonel süreçlere yaklaşımlarının gemi kontrolünün otonomi düzeyi bağlamında değerlendirilerek yapılmasından kaynaklanmaktadır. Rødseth ve Nordahl (2017) çalışmasında gemi üzerinde bir kontrol ekibinin seyir süresince bulunacağı ve gerektiğinde bu ekibin geminin işleyişine müdahale edileceği üzerine bir senaryo çalışması yapmıştır.

**Tablo 4.** Rødseth ve Nordahl' ın ticari gemiler için önerdikleri sekiz dereceli otonomi düzeyleri (Rødseth ve Nordahl, 2017).

Otonomi Düzeyi	Açıklaması
Doğrudan Kontrol	Gemi doğrudan gemi insanları tarafından kontrol edilmekte ancak asgari otomasyon ve kara desteği mevcuttur.
Karar Desteği	Sistem köprü üstü personeline öneriler sunar ve karar desteği sağlar ancak manevraya gemi üzerindeki personel karar verir.
Otomatik Köprü	Tüm işlemler otomatikleştirilmiştir fakat köprü üstü personelinin daima gözetimi vardır.
Düzenli aralıklarla insansız köprü üstü	Kıyı kontrol merkezinin gözetimi var, gerekli durumlarda köprü üstü personeli kumandayı ele alır.
Uzaktan Kumandalı	Gemide personel bulunmaz, gemi kara kontrol merkezinden kesintisiz izlenir ve komutlar kara kontrol merkezinden verilir.
Otomatik Kontrol	Otomatikleştirilmiş kontrol altında olan insansız gemi, kıyı kontrol merkezi tarafından izlenir.
Kısıtlı Otonom	Tamamen insansız, zaman zaman otonomi mevcuttur diğer zamanlarda kıyı kontrol merkezi tarafından kontrol edilir ve denetlenir.
Tam Otonom	Tamamen İnsansız ve karadan denetleme yoktur.

MASS ile yapılan otonom gemilerin derecelendirilmelerinde II. ve III. derecelerde uzaktan kontrol durumundan bahsedilmektedir. Otonom gemileri uzak bir merkezden yada karada ki bir merkezden izleyecek ve idare edecek personellerin gemi insanı olması veya olmaması gerekliliği için literatürde farklı görüşler mevcuttur. Gemi Trafik Hizmetleri (*Vessel Traffic Services-VTS*) gemilerin daha emniyetli seyrüsefer yapabilmeleri için ve gemi trafiğinin güvenliğini sağlamak için teşekkül edilen seyir yardım sistemleridir (Topsoy, 2013). Bazı avrupa ülkelerinde VTS merkezlerinde çalışan personellerin gemi insanı olma zorunluluğu bulunmamakla beraber çoğu ülkelerde bu işi yapacak



personeller için en azından vardiya zabiti yeterliği aranmaktadır. Uluslararası Seyir Yardımcıları ve Fenerler Otoriteleri Birliği (*International Association of Marine Aids to Navigation Lighthouse Authorities*–IALA) VTS personellerinin eğitim ve sertifikalandırılmalarının standartlaştırılması için 1998 yılından itibaren çalışmalar yapmakta ve VTS operatörlerinin alması gereken standart eğitimleri belirlemektedir (IALA, 2022). IMO’ nun MSC komitesi VTS operatörlerinin IALA Model Kurslarına göre yapılması gerektiğini üye ülkelere tavsiye etmektedir (IMO, 2002). Bununla beraber VTS sisteminin sorunsuz şekilde çalışabilmeleri için VTS operatörlerinin, haberleşmede yeterli yabancı dilbilgisi ile gemilere gerekli seyir yardımı verip yönlendirebilecek kadar denizcilik bilgi ve tecrübesine de sahip olması gerekmektedir (Topsoy, 2013). VTS operatörleri otonom gemilerin uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel kişilerin eğitimi ve belgelendirilmesi bağlamında bir örnek teşkil edebilir. Baldauf vd. (2019), e-Seyir konseptli yaptığı simülasyon çalışmasında denizcilik alanından deneyimli denizciler ve deneyimsiz personel ile denemeler yapmıştır. Yapılan bu gözlemlerden ve katılımcıların geri bildirimlerinden, uzaktan kumanda edilen bir gemiyi idare eden personelin küresel ve bölgesel olarak uygulanan yasalara, operasyonel prosedürlere hakim olması gerektiği, bu kural ve düzenlemeler konusunda da yeterli eğitim alması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. IMO tarafından “insan unsuru” gemi insanlarının denizcilik endüstrisindeki rolünden ötürü “kilit unsur” olduğu kuvvetle vurgulanmıştır (IMO, 27 Kasım 2003: Resolution A.947(23)). IMO prensipleri temelde insan veya organizasyon hatasından kaynaklanan kazaları mümkün olduğunca azaltmayı amaçlamaktadır. Bununla beraber insan unsuru perspektifinden mevcut IMO araçlarının incelemelerini yaparak daha emniyetli bir deniz ortamı oluşturmak hedefleri arasındadır. Geçmişten günümüze deniz kazalarında ki insan rolü artmıştır (Pense, 2018). Doğru ve Yorulmaz (2020)’ in yaptığı çalışma sonuçlarına göre, gemilerdeki dijitalleşmenin insan hatası kaynaklı deniz kazalarını azaltmaya katkıda bulunacağı sonucuna varılmıştır. Yu Eun Won, Güney Kore’de 2000-2004 yılları arasında gerçekleşen deniz kazalarını inceleyen çalışmasında, kazaların %90 oranında, gözcü dikkatsizliği, Çatışmayı Önleme Tüzüğü kurallarına riayet edilmemesi ve hatalı yük elleçlenmesi gibi sebeplerle insan hatası kaynaklı meydana geldiğini bulgulamıştır (Pense, 2018: s.2-3). EMSA (Avrupa Birliği Deniz Emniyet Ajansı)’ nın 2016 yılında yaptığı araştırmada ise gerçekleşen deniz kazalarında insan hatası etkisinin (%62 ) olduğu anlaşılmaktadır (Doğru ve Yorulmaz, 2021).

Geleneksel gemiler ile yapılan deniz taşımacılığından otonom gemiler ile yapılacak deniz taşımacılığına geçişte insan unsurundan kaynaklı zorlukların nasıl aşılacağı halen belli değildir. Aslında otonom gemiler tam otonom olarak sefer yapsalar dahi bu gemilerin yazılımları ve donanımları da insan tarafından üretilen olduğundan daima insan unsuru var olacaktır yalnızca otonom gemilerin derecelendirilmesinde insanın rolü değişecektir. Bu bölümde değindiğimiz çalışmaların hepsini değerlendirecek olursak katıldığımız ortak noktalarının otonom gemilerin daima mürettebatsız ya da insansız olamayacağı ve bir şekilde insan unsurunun bulunacağı ancak belli derecelendirmeler yapıldığı zaman ayrımın ortaya çıktığı yönündedir. Ayrıca ileride ortak bir otonom gemi tanımı yapılacağı zaman mutlaka geminin sahip olduğu otonomi düzeyinin bu tanımda belirleyici rol alacağını ve IMO’ nun MASS tanımının en yakın ortak kabul edilebilir tanım olduğudur. Bununla beraber uzaktan kontrol durumunda uzak kontrol merkezinde çalışması muhtemel personellerin aranan emniyet standartlarının sağlanabilmesi ve yasal yükümlülükler gereği denizcilik deneyimi olan personellerden oluşturulması yada başka bir ifade ile belirlenmiş bir seviyede yeterli yabancı dil bilgisi de dahil olmak üzere gerekli tüm eğitimleri almış olmaları beklenmektedir.

### 3. STCW Sözleşmesi, bölümleri ve otonom gemiler üzerinde etkili olabilecek maddeleri

STCW sözleşmesi gemi insanlarının uluslararası standartlara göre eğitim, belgelendirme ve vardiya standartlarını belirleyen bir sözleşme olup, deniz emniyeti ve güvenliği açısından en önemli denizcilik sözleşmelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Sözleşme uluslararası sularda sefer yapan gemilerdeki gemi insanlarının yeterliliklerine ilişkin karşılanması gereken asgari standartları belirlemekte olan detaylı bir sözleşmedir. Mürettebat yeterliklerinin dışında kalan ve gemide bulunması gereken asgari personel sayıları ile ilgili olan düzenleme SOLAS sözleşmesinde Kural V/14, Personelle donatma bölümünde yapılmıştır (Manuel ve diğ, 2020: s.471).

STCW sözleşmesi, ilk olarak 7 Temmuz 1978 tarihinde gemilerin emniyet ve güvenliğinden ve gemiler tarafından deniz ve atmosfer kirliliğinin önlenmesinden sorumlu Birleşmiş Milletler uzman kuruluşu olan IMO bünyesinde Londra’ da yapılan 72 ülkenin katıldığı uluslararası konferans ile kabul edilmiştir

(IMO, 1978). Sözleşmeye Taraf devletler sözleşmenin bütün ve etkili şekilde uygulanmasını sağlamak için gerekli kanun, yönetmelik gibi yasal ve idari düzenlemeleri kendi kanunlarında da yapmakla yükümlüdürler (Ulusoy, 2013: s.501). Sözleşme 28 Nisan 1984 tarihinde 100 veya daha yüksek gros tonajlı gemiler ile dünya tonajının en az yüzde 50 sini oluşturan, 72 Ülkeden 25' i tarafından kabul edildikten 12 ay sonra “zımni kabul prosedürü” ile yürürlüğe girmiştir. Sözleşme, 1995 ve 2010 yıllarında yapılan değişiklikler ile sekiz kez değiştirilmiştir ve en son 25 Haziran 2010 yılında Manila değişiklikleri diye adlandırılan kapsamlı değişiklikler yapılarak yine “zımni kabul prosedürü” ile kabul edilmiştir. Yapılan değişiklikler sözleşmede zımni kabul prosedüründe belirtilen süre içerisinde Taraf devletlerin iç hukuk sistemlerinde de kabul edilerek onaylanması gerekmektedir. IMO' nun hem sözleşme kabulünde hem de yapılan değişikliklerden sonra değişikliklerin kabul edilmesini kolaylaştırmak için zımni kabul prosedürünü benimsediğini görmekteyiz. Deniz Güvenlik Komisyonunda (Genişletilmiş Deniz Güvenlik Komisyonu) alınacak kararların oylama esnasında hazır bulunarak oy veren Tarafların üçte iki çoğunluğu ile ve en az üçte birinin hazır bulunması koşulu ile kabul edilmesi işleme zımni kabul prosedürü denmektedir.

Sözleşmede 2010 yılında yapılan değişiklikler ile Elektro Teknik Zabıtları (ETO) için yeni tanımlar ve ECDIS' in kullanımı ile ilgili yeni eğitim gereklilikleri, ayrıca liderlik ve takım çalışması, güvenlikle ilgili alıştırmalar, emniyet-farkındalık eğitimi gibi... konularda eğitim gereklilikleri eklenmiştir (STCW 1978). STCW Sözleşmesine taraf olup tüm maddelere uyum sağlayan Taraf devletler ise “beyaz liste” diye adlandırılan listeye alınmaktadır. Böylece, beyaz listede yer alan devletlerin verdikleri sertifikalar, gerekli standardizasyonun sağlandığı kabul edilerek bu listede yer alan devletlerce de karşılıklı kabul edilmektedirler. Sözleşme, 2010 Manila değişikliklerinin kabulü ve MLC standartlarının sözleşmeye dahil edilmesi ile son halini almıştır. Ancak hızla gelişen teknoloji ve bilim, denizcilik endüstrisinin önüne yapay zekâ ve otonom teknolojileri koymuştur. Gelişen teknoloji, gemilerde kullanılan elektronik ve dijital sistemlerin artmasına sebep olmuştur. Buna bağlı olarak STCW sözleşmesinde belirtilen eğitim ve vardiya standartlarında ihtiyaca göre 2010 Manila değişiklikleri yapılmıştır. Ancak, mevcut sözleşmeye göre yapay zekâ ve otonom teknoloji ile ilgili yapılacak güncellemelerin nasıl yapılabileceği ve mevcut hükümlere göre yorumlanacak ise nasıl yorumlanabileceği ya da yeni bir sözleşme ihtiyacı olup olmadığı ile ilgili araştırma ve tartışmalar halen devam etmektedir.

### 3.1. STCW Sözleşmesi bölümleri

Sözleşme, yapı itibari ile üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, sözleşme maddelerini ve Tarafların yerine getirmesi gereken yasal sorumlulukları içeren ilk bölüm, yasal sorumlulukların nasıl yerine getirilmesi gerektiğine dair teknik ayrıntılar içeren ve hükümler bulunduran Ek Bölümü ve Ek' te bulunan teknik ayrıntıları daha derinlemesine belirten STCW Kod' u dur. STCW Kod ise zorunlulukları içeren A ve Kod' un uygulanması ile ilgili rehberlik ve tavsiyeleri içeren B bölümleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Sözleşmenin Ek' i ise aşağıda belirtilen şekilde sekiz bölümden oluşmaktadır ve her bölüm ayrıca kurallara ayrılmıştır;

Bölüm I, Genel hükümleri içerir,

Bölüm II, Kaptan ve güverte bölümleri hakkındadır,

Bölüm III, Makine bölümü hakkındadır,

Bölüm IV, Telsiz iletişimi ve telsiz operatörleri hakkındadır,

Bölüm V, Belirli gemi türlerindeki personel için özel eğitim gereksinimlerini içerir,

Bölüm VI, Acil durum, iş emniyeti, güvenlik, tıbbi bakım ve hayatta kalma ile ilgilidir,

Bölüm VII, Alternatif sertifikalandırmalar ile ilgilidir,

Bölüm VIII Vardiya tutma usulleri ile ilgilidir (STCW, 1978).

STCW Kod' u ile Ek'i aynı sayıda bölümleri içerir, ancak kurallar yerine bölümler şeklindedir. Bölüm A (Zorunlu) ve Bölüm B (Tavsiye/Rehber) olacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca her bölüm yeterlikleri, ilgili yeterliği ölçme, yetkinliği gösterme yöntemi ve yetkinliği değerlendirme kriterlerini

gösteren tablolar bulunmaktadır. Gemilerde görev alacak gemi insanları sözleşmede belirtilen yetkinliklere göre eğitimleri aldıklarını ispatlamaları halinde belirtilen her bir yetkinlik için devletler bunun kanıtı olarak geçerli sertifika düzenlerler. Bu sertifikalar gemi insanlarının STCW de belirtilen gerekli eğitimi aldığını ispatlar.

### 3.2. STCW' nin otonom gemiler üzerinde etkili olabilecek maddeleri

STCW Sözleşmesi Tablo 5' de gösterilen ve Tarafların yerine getirmesi gereken yasal sorumlulukları ve genel yükümlülükleri içeren on yedi ana maddeden oluşmaktadır. Bu maddeler sözleşmenin ana hükümlerini içermekte olup sözleşme ayrıca Ek (Annex), STCW Kodu ve bu Kodun A-B Bölümlerinden oluşmaktadır. STCW Kodu A Bölümü STCW sözleşmesinin zorunluluklarını içerir.

**Tablo 5.** STCW Sözleşmesi Maddeleri (STCW-1978).

<b>Madde I</b>	Sözleşmenin Genel Yükümlülükleri
<b>Madde II</b>	Tarifler
<b>Madde III</b>	Uygulama
<b>Madde IV</b>	Bilgi İletişimi
<b>Madde V</b>	Diğer Andlaşmalar ve Yorum
<b>Madde VI</b>	Belgeler
<b>Madde VII</b>	Geçici Hükümler
<b>Madde VIII</b>	Geçici Yetki
<b>Madde IX</b>	Eşdeğerler
<b>Madde X</b>	Kontrol
<b>Madde XI</b>	Teknik İşbirliğinin Geliştirilmesi
<b>Madde XII</b>	Değişiklikler
<b>Madde XIII</b>	İmzalama, Onaylama, Kabul Etme, Uygun Bulma ve Katılma
<b>Madde XIV</b>	Yürürlüğe Girme
<b>Madde XV</b>	Çekilme
<b>Madde XVI</b>	Tevdi ve Tescil
<b>Madde XVII</b>	Diller

Birçok uluslararası sözleşmede olduğu gibi STCW sözleşmesinde de kabul yılı itibarı ile normal olarak kabul edilse de mevcut teknoloji göz önüne alındığında tanım eksiklikleri vardır. Sözleşme incelendiğinde açıkça gemi, gemi insanı ve otonom gemi tanımı yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda, mevcut maddelere göre yorum yapmamız gerekecektir.

Sözleşmede geçen açık deniz gemisi tanımını ve bu tanımın unsurlarını incelersek ve yine bunlar üzerinden bir yorum yapacak olursak otonom geminin bir gemi olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği noktasına varabiliriz. Buna göre sözleşmede geminin tanımını içeren, Madde II (g) "*Açık deniz gemisi, münhasıran iç sulara, mahfuz sulara veya liman kurallarının uygulandığı alanlarda veya bunların çok yakınında çalışanların dışındaki gemileri*" olarak tarif edilmiştir. Diğer bir deyişle, otonom geminin literatürde ekseriyetle insansız gemi olarak da geçmesi ancak ilgili madde içerisinde geminin unsurlarından bahsedilmemesi başka bir deyişle bir gemiyi sevk ve idare edenden ya da insan unsurundan açıkça bahsetmemesi maddeyi yoruma açık hale getirmekte ve bu maddeye ters bir durum oluşturmamaktadır. Bu maddeye göre yapılan gemi tanımının otonom gemiyi tam olarak tanımlaması da ilgili maddenin yorumlanması ile genel olarak bu tanım içerisinde kalmaktadır. Bununla beraber STCW-1978 Ek Bölüm I Genel hükümler Kural I/1 Tanımlar ve açıklamalar maddesi altında bazı gemi tiplerinin (*Petrol tankeri, Kimyasal tanker, Sivılaştırılmış gaz tankeri, Yolcu gemisi ve Ro-ro yolcu gemisi*) tanımları yapılmıştır (STCW, 1978). Bunun sebebinin sözleşme içeriğinde belirlenen gemi insanlarının edinecekleri yetkinliklerin standartları belirlenirken bu yeterlik ve yetkinliklerin gemi tiplerine göre özellik göstermesi düşünülmüştür.

Sözleşmede açıkça bir gemi insanı tanımı yapılmamıştır. Sözleşmenin gemi insanlarının eğitim, belgelendirme ve vardiya standartları ile ilgili uluslararası bir antlaşma olmasına rağmen tanımlar kısmında açıkça gemi insanı tanımı geçmemesi bir eksiklik olarak görülse de sözleşmenin Ek Bölüm I Genel Hükümler Kural I/1 Tanımlar ve açıklamalar kısmında gemilerde görev yapan mürettebatlar ayrı

ayrı tanımlanmıştır. Mevcut durumda sözleşme kuralları hükümlerine göre tanımları ve açıklamaları verilen yeterlikler, “Kaptan, Zabit, Güverte zabiti, Birinci zabit, Makine zabiti, Baş mühendis, İkinci mühendis, Yardımcı makine zabiti, Telsiz zabiti, GMDSS telsiz operatörü, Gemi güvenlik zabiti, Elektro-teknik zabiti, Usta gemici ve Usta makineci” dir. Bu tanımlar içerisinde “Kaptan” tanımı geçmektedir, ancak otonom gemi insanı tanımı geçmemesi yine de bir eksiklik olduğu değerlendirilmeye beraber ifa edilecek olan işin bir geminin kumanda edilmesi olduğundan sözleşmede yapılacak bir düzenleme ile otonom gemi insanı tanımı bu tanımlara eklenerek otonom gemi insanların sözleşme kapsamına alınabilir. Tabii ki bu durumda otonom gemi insanları için belirlenecek yeni eğitim, öğrenim metot ve yöntemleri ile birlikte yeni belirlenecek yeterliklerinde STCW’ de belirtilmesi gerekecektir. Ancak sözleşmenin yapısından dolayı böyle bir yol izlenmesinden ise yeni bir sözleşme yada kod düzenlenmesi daha uygun olacaktır.

STCW sözleşmesi gemi insanların yeterliliklerini ve becerilerini doğrudan etkileyen yüksek öncelik bir sözleşme olarak kabul edilmektedir. STCW sözleşmesinin I. Maddesi açıkça belirtilmektedir ki;

*“Taraflar, denizde can ve mal güvenliği ile deniz çevresinin korunması bakımından, gemiadamlarının görevlerine uygun nitelikte olmalarını temin için sözleşmenin tüm olarak uygulanmasını sağlamak üzere bütün kanun, kararname, emir ve yönetmelikleri çıkarmayı ve lüzumlu diğer önlemleri almayı taahhüt ederler.”*

Bu maddeye göre sözleşme denizde can ve mal güvenliği ile deniz çevresinin korunması için bir bütün olarak uygulanacak ve Taraf devletler bu sözleşmeye göre kendi yasa, yönetmelik ve uygulamalarını alacaklardır. Başka bir deyişle STCW sözleşmesi uluslararası bir sözleşme olmasının yanında kabul edilmesi ile beraber Taraf devletlerin yasaları için de geçerli olacak ve aynı hükümler uygulanacaktır. Bu açıdan sözleşme kabul eden Taraflar açısından uluslararası bağlayıcılığı olan ve yasal hükümleri standardlaştırmaya çalışan bir sözleşmedir. Sözleşmenin Madde III Uygulama bölümünde, “Sözleşme aşağıda belirtilenlerin dışında, bir Taraf bayrağını taşımaya mezun açık deniz gemilerinde hizmet gören gemi adamları hakkında uygulanır;” maddesine göre sözleşmenin bir Taraf bayrağını taşıyan açık deniz gemilerinde hizmet gören gemi insanları hakkında uygulanacağı ifade edilmiştir.

Sözleşmede geçen “açık deniz gemisi” tanımının MASS’ da belirtilen otonom gemi tanımlarına aykırılık içermediği görülmektedir. STCW sözleşmesinde “gemi insanı” tanımı da geçmemektedir. İlk bakışta bu madde sözleşmenin otonom gemi insanlarına uygulanması konusunda bir olumsuzluk olarak görülse de otonom gemi insanları ile ilgili sözleşmede açık bir hüküm bulunmaması sözleşme ve maddelerinin yorumu ile bir uygunluk aranması yolunu açmaktadır. Zira otonom gemilerin literatürde geçen birçok derecelendirmeleri mevcuttur. Bazı derecelerinde insan unsuru gemi üzerinde bulunmakta, bazı derecelerinde ise uzaktan kontrol seviyeleri belirtilerek insan unsuru içermektedir. Bu hali ile madde üzerinde yorum yapılır ise, II. ve III. otomasyon derecelerinde uzaktan kontrol eden otonom gemi insanının kabul edilebilir bir gemi insanı yeterliğine haiz olması durumunda bu durumun ilgili maddeye aykırılık oluşturmayacağı şeklinde yorumlanabilir. Ancak, açıkça bu kadar belirsizlikler içeren bir durumda STCW sözleşmesine taraf olan devletlerin ortak noktada mutabık kalarak bu maddenin otonom gemi insanlarına uygulanabilir olduğunu yorumlamayacaktır. Bununla beraber MSC’ nin MASS çalışmaları sonucuna göre mevcut uluslararası denizcilik sözleşmelerinde MASS’ ın II. ve III. derece otomasyonunda uzak kontrol merkezi operatörünün gemi insanı olamayacağı, ancak mevcut kod üzerinde ileride değişiklikler yapılması yolu ile ya da yeni bir MASS kodu belirlenebileceği belirterek konu LEG Komitesi gündemine dahil etmiştir (IMO Docs/MSC.1/Circ.1638, 03.06.2021).

STCW (1978) sözleşmesinde, Madde V (3) “Sözleşmede açıkça belirtilmeyen bütün hususlar Tarafların kendi yasal uygulamalarına bırakılmıştır” ibaresi bulunmaktadır. Bu maddeye göre sözleşme maddelerinin yorumu açık olduğu ve sözleşmede açık olarak belirtilmeyen hususların Tarafların kendi yasal uygulamalarına bırakıldığı anlaşılmaktadır. Başka bir ifade ile sözleşmede belirtilmeyen konularda Taraflar kendi düzenlemelerini yapabilmektedirler. Bu durum sözleşmenin otonom gemi insanlarına uygulanabilirliği konusunda sözleşmede açıkça belirtilmeyen bir husus olduğundan bir avantaj sağlamakta ancak uluslararası yeknesaklık oluşturmak için böyle bir adlaşmanın yapılmış olup da sözleşmede açıkça belirtilmeyen konuların Tarafların kendi yasal uygulamalarına bırakılmış olması adlaşmanın ruhuna aykırı bir durum oluşturmaktadır.

STCW-1978 Madde V, Diğer Andlaşmalar ve Yorum (4), Tarafların egemenlik haklarından doğan kendi iç sularında yapacakları taşımalarda kendi hukuk uygulamalarını kullanabilecekleri belirtilerek bir esneklik sağlanmış olsa da sözleşmenin uluslararası standartlar geliştirilmesi için yapıldığı düşünüldüğünde bu maddenin sözleşmenin ruhuna aykırı olduğu değerlendirilebilir. Hali hazırda yürütülen otonom gemi projelerinden ve bu projelerin ilan edilen test alanlarında yapılan çalışmalardan da tespit ettiğimize göre her Devlet kendi standardını benimserken ortak noktalarının denizde can, mal emniyeti ve çevre korunması olmuştur.

Donatanlar, gemilerinin STCW (1978) sözleşmesine uygun olarak emniyetli donatılmasından ve yapılacak hizmet için uygun şekilde sertifikalandırılmış gemi insanların görevlendirilmesinden sorumludur (STCW-1978, Bölüm I, Kural I/14, Şirketlerin sorumlulukları). STCW (1978) sözleşmesi ve Ek' i hükümlerine göre gerekli deniz hizmeti, yaş, sağlık, eğitim, nitelik ve sınav gereksinimlerini karşıladığına İdarece kanaat getirilen kaptan, zabıt ve tayfalara İdarece geçerli bir belge düzenleneceği ve onaylanacağı belirtilmiştir (STCW-1978, Madde VI, Belgeler). Bu belgelerin alınan eğitim ve kazanılan yeterliklerin birer kanıtı olarak gemilerde bulundurulması zorunludur. Sözleşmenin, Temel yeterlilik belgeleri ile ilgili olan Ek Bölüm I' de;

*“Yeterlik belgesi bu ekin II, III, IV veya VII bölümlerinin hükümlerine uygun olarak kaptanlar, zabıtlar ve GMDSS telsiz operatörleri için düzenlenen, onaylanan ve yasal sahibine burada belirtilen sorumluluk düzeyinde ilgili sıfatla hizmet etme görevleri yerine getirme hakkı veren bir sertifika anlamına gelir”*

şeklinde ifade edilmektedir. Bu maddeye göre uygun yeterliklerden doğan sorumlulukların tespitinde ve görevlerin yerine getirilmesinden doğan hakkın kullanımında sertifikaların gerekli olduğu anlaşılmaktadır (Feyzioğlu, 2020: s.451).

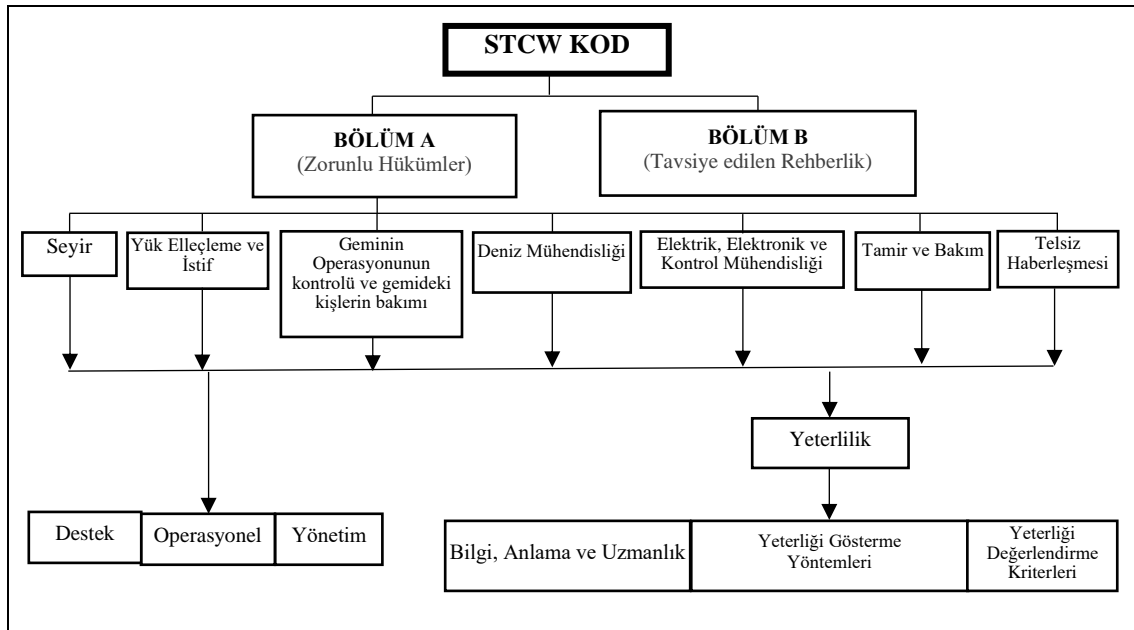
Sözleşmenin Madde IX Eşdeğerler bölümünde, İdarelerin teknik gelişmelere, özel gemi tiplerine ve seferlerine uyarlanan açık deniz hizmetlerine atıf yaparak sözleşmenin diğer öğrenim ve eğitim düzenlemelerine engel teşkil etmeyeceği belirtilmiştir. Bu madde, gelecekte yeni tip eğitim sistemleri düzenlenmesi açısından STCW' de bir açık kapı bırakıyor olsa da geleceğin gemi insanların eğitimleri için izlenecek yolun yada alınacak aksiyonların daha açık ve net bir ifade ile belirtilmesi gerekmektedir. Hali hazırda sanal köprü üstü uygulamaları denizcilik eğitimlerinin bir parçasıdır ve kaptan/zabıt eğitimlerinde kullanılmaktadır. Eğitimlerde kullanılan simülasyon sistemleri ile uzaktan gerçek bir geminin sevk ve idaresinin aynı şekilde görülmesi beklenemez ancak simülasyon eğitimlerinin denizci eğitiminin bir parçası olduğundan ve STCW sözleşmesinde de bu eğitimler STCW Kodu' na göre düzenlendiğinden aynı şekilde uzaktan kontrol durumu ile ilgili yapılacak olası yeni bir sözleşme yada yeni kod' da simülasyon uygulamaları, eğitimler ve yeterlikler için de yeni düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca günümüz teknolojik gelişimi göz önüne alındığında kodlama, yapay zeka, programlama ve insan makine etkileşimi gibi konuların STCW eğitim sistemine entegre edilerek bu eğitimlerin bir parçası olması için taraf devletlerin yoğun çaba ve paylaşım yapması gerekecektir.

Sözleşmenin tanımlar kısmında gemide görev yapan kişiler ve bu kişilerin sahip oldukları yeterlikler ile yapacakları görevler detaylı olarak tanımlanmıştır. Kod A kısmında ise bu kişilerin almaları gereken eğitim, sağlık, sınav ve hizmet süreleri gibi şartlar detaylı olarak verilmiştir. Gemi insanları belirtilen bu yeterlikleri sağladıklarını ispatladıkları takdirde İdare tarafından belge almakta ve bu belgeler İdarece onaylandığı zaman görevlerini yasal olarak yapabilmektedirler.

Sözleşmede bir taraf limanında bulunan gemilerin gemi insanlarında sözleşmenin gerektirdiği belgelerin bulunup bulunmadığının saptanması için kontrole tabi oldukları belirtilmektedir (STCW-1978, Madde X, Kontrol, (1)). Tam otonom olarak tabir edilen ve gemi üzerinde gemi insanı bulunmayan IV. seviye otonom bir geminin başka bir tarafın limanını ziyaret ettiğinde ve sözleşmeye göre kontrol denetimi gerçekleştirilmek istenmesi durumunda liman devleti yetkilisinin sağlıklı şekilde kontrol yapamayacağı aşıkardır. Uzaktan kontrol merkezinde çalışan otonom gemi insanların STCW' ye uygun olarak geminin bulunduğu kontrol merkezi İdaresi tarafından düzenlenmiş belgeleri olsa ve elektronik ortamda ibraz edilse bile belge sahibi ile belgenin aynı kişiye ait olup olmadığının tespiti şüphe doğurabilecektir. Bununla beraber aynı maddenin ikinci ve üçüncü paragraflarına göre kontrol işlemlerini yapan taraf kendi yorumuna göre can, mal ve çevre için tahlike arz edildiğini

değerlendirdiği takdirde geminin seferden alıkonulmasına karar verebilecektir (STCW-1978, Madde X, Kontrol, (3)). Bu durum daha önce de bahsettiğimiz gibi sözleşme maddelerinin muğlak ve yoruma açık maddeler içermesinden kaynaklanmaktadır. Otonom gemiler ve unsurları hakkında yeni bir sözleşme yada kod yayınlanmadığı takdirde otonom bir geminin yasal olarak sefer yapabilmesi önünde büyük riskler bulunduğu görülmektedir.

Denizcilik eğitimi ile verilen yeterlikler, başka bir deyişle uluslararası gemi insanı nitelikleri IMO tarafından belirlenmektedir. Bu yeterlik ve niteliklerin belirtildiği uluslararası belge STCW sözleşmesi ve buna göre düzenlenen belgeler STCW sertifikalarıdır. Gemi insanları görev yapacakları gemilerde yetkinliklerine göre edindikleri sertifikalar ile yasal olarak çalışabilme hakkı kazanmaktadırlar. STCW’ de yeterlilik ve değerlendirme standartları Şekil 2’ de gösterildiği gibi dir (Ghosh ve diğ, 2014). Buna göre tüm yetkinlikler STCW Kod’ da yedi fonksiyon altında gruplandırılmıştır. Her fonksiyon, gemi operasyonları, denizde can emniyeti veya deniz ortamının korunması için gerekli olan bir görevler grubudur. Bu fonksiyonlar; “seyir, yük elleçleme ve istifleme, geminin operasyonunu kontrol etme ve gemideki kişileri koruma, deniz mühendisliği, elektrik-elektronik ve kontrol mühendisliği, tamir-bakım ve telsiz haberleşmesi” dir (STCW, 1978). Fonksiyonlar ise üç sorumluluk seviyesine ayrılır. Bunlar “destek, operasyonel ve yönetimsel” dir. STCW kapsamında verilen çeşitli sertifikalar, gemi insanların istihdam seviyelerindeki mesleki rollerine bağlıdır (örneğin, giriş seviyesi sertifikalarından Kaptan/Baş Mühendise). Her bir fonksiyon bireysel yeterlilik birimlerinden oluşur. STCW, her bir yeterlik biriminin değerlendirilmesi için “Bilgi, anlama ve uzmanlık, yeterliği gösterme yöntemleri ve yeterliği değerlendirme kriterlerini” belirtmektedir. Sözleşmenin Kod A bölümünde,



Şekil 2. STCW’ de Yeterlilik ve Değerlendirme Standartları (Ghosh ve diğ, 2014).

Tablo 6’ da görüleceği üzere “500 GT (Gross Ton) ve daha büyük gemilerde çalışan kaptanlar ve birinci zabıtlar için asgari yeterlik şartları” verilmiştir. STCW Kod A’ da her bir yeterlik için haiz olunan yeterliğe göre gemide görev yapacak olan gemi insanların sahip olunması istenen yeterlikler işlemlere göre ayrılarak tablolaştırılmıştır.

Bu tablolarda, 2. sütunda, bilgi, anlama ve uzmanlık kriterleri 3. sütunda, yeterliği ölçme metotları 4. sütunda ve yeterliği değerlendirme ölçütleri listelenerek tablolar verilmiştir. Tablo 6, sütunlara ayrılmış olup 1. sütun “yeterlik” den oluşmakta ve “Sefer planlaması ve seyir idaresi, ortaya çıkan konum düzeltmesinin konumunu ve doğruluğunu herhangi bir yolla belirlemek, pusula hatalarını belirleme ve bunları hesaba katmak, arama kurtarma operasyonlarını koordine etmek, vardiya düzenleri ve prosedürleri oluşturmak, komuta karar verme sürecine yardımcı olmak için navigasyon sistemlerinden gelen bilgileri kullanarak emniyetli seyir, komuta karar verme sürecine yardımcı olmak için ECDIS ve ilgili navigasyon sistemlerini kullanarak emniyetli seyir, hava durumu ve oşinografik koşul tahmini,

seyirle ilgili acil durumlara karşılık vermek, bir gemiye her koşulda manevra yaptırmak ve idare etmek, tahrik tesisi ve mühendislik sistemlerinin uzaktan kontrolü ve çalıştırılması” satırları yer almaktadır. Her satırın sırasında ki üç sütunda, “Bilgi, anlama ve uzmanlık, yeterliği ölçmek için metotlar ve yeterliği değerlendirmek için ölçüt” sütunları yer almaktadır. STCW Kod’ da her bir işlev tablolarına ayrılarak anılan yeterliliklerde gemide görev yapacak gemi insanları için detaylı bir değerlendirme sistemi belirlenmiştir.

**Tablo 6.** STCW Kod Tablo A-II/2 “500 GT ve daha büyük gemilerde çalışan kaptanlar ve birinci zabıtlar için asgari standart yeterlik şartları” (IMO, STCW Kod Tablo A-II/2).

<b>Tablo A-II/2</b>			
<i>500 GT ve daha büyük gemilerde çalışan kaptanlar ve birinci zabıtlar için asgari standart yeterlik şartları</i>			
<b>İşlev: Yönetim düzeyinde seyir</b>			
<b>Sütun 1</b>	<b>Sütun 2</b>	<b>Sütun 3</b>	<b>Sütun 4</b>
<b>Yeterlik</b>	<b>Bilgi, anlama ve uzmanlık</b>	<b>Yeterliği ölçmek için metotlar</b>	<b>Yeterliği değerlendirmek için ölçüt</b>
Sefer planlaması ve seyir idaresi	Aşağıda belirtilenler göz önünde bulundurularak ve kabul edilebilir metotlarla her duruma uygun sefer planlaması ve okyanus geçiş planı: .1 kısıtlı sular .2 meteorolojik koşullar .3 buz .4 kısıtlı görüş .5 trafik ayırım düzenleri .6 gemi trafik hizmetleri (VTS) sahaları .7 yoğun gelgitlerden etkilenen alanlar Gemilerin Rotalarıyla ilgili Genel Hükümler uyarınca rota belirleme Gemi Rapor Etme Sistemleri için Genel İlkeler ve VTS yöntemleri uyarınca rapor etme	Aşağıda belirtilenlerin bir ya da birkaçından edinilen kanıtların incelenmesi ve değerlendirilmesi: .1 onaylı hizmet içi tecrübe .2 uygun olan yerlerde onaylı simülasyon eğitimi .3 onaylı laboratuvar ekipmanları eğitimi  Kullanılanlar: harita katalogları, haritalar, denizcilik yayınları ve gemi ayrıntıları	Sefer için gerekli ekipmanlar, haritalar ve denizcilik yayınları numaralandırılacak ve seferin emniyetli yapılmasına uygun olacaktır  Planlanan rota için sebepler ilgili kaynak ve yayınlarla elde edilen gerçek ve istatistiksel verilerle desteklenecektir  Mevkiiler, rotalar, mesafeler ve zaman hesaplamaları, seyir ekipmanları için kabul edilen doğruluk standartlarında olacaktır  Tüm muhtemel seyir tehlikeleri doğru şekilde belirlenecektir

STCW Kodu A-I/8 gereğince, taraf devletlerin eğitim kurumları, yeterliklerin değerlendirilmesi ve belgelendirme faaliyetlerinin belirlenmiş amaçlara ulaşıldığının tespiti amacıyla sürekli olarak bir nitelik standartları sisteminin uygulanmasını, hedeflerin ve nitelik standartlarının STCW ile uyumlaştırılmasını zorunlu kılmaktadır (IMO, 2010). STCW Kod B bölümünde ise Kod A da belirtilen gemi insanların yetkinliklerinin, “eğitim, roller ve sorumluluklar, göreve başlama, gemide eğitim programı, izleme ve yeniden gözden geçirme, seyir vardiyasında yetenek ve becerilerin değerlendirilmesi, yetkinliğin değerlendirilmesi ve göksel seyir eğitimleri” için belgelendirilmesine dair rehberlikleri içermektedir.

STCW Kod Bölüm A-VIII/2 Kısım 4-1 Vardiya düzenleri, gemilerde vardiya tutmanın temel ilkelerinden bahseder ve köprü üstünde vardiya düzenine karar verilirken “köprü üstünün hiçbir zaman gözetimsiz bırakılmayacağı” ifade edilmektedir. Bu durum bir kez daha gemilerde insan unsurunun bir gereklilik olduğu konusunda vurgu yapmaktadır. Ancak sözleşme maddelerini incelediğimiz zaman

muğlak ifadeler barındırdığı, sözleşmede açıkça “gemi” ya da “gemi insanı” tanımı yapılmamış olduğu, ayrıca bazı maddelerinin yorumuna açık olarak yapılarak Taraf devletlerin yorumuna ya da uygulamasına bırakılmıştır.

Tüm bunlar ile gördüğümüz kadarı ile 2010 yılında yapılan büyük bir değişiklik ile zamanın teknolojik gerekliliği olarak kabul edilen elektronik seyir yardımcısı cihazları ve bu cihazların kullanılması ile ilgili eklemeler yapılmış olması gelecekte sözleşmenin yine aynı şekilde Taraf devletlerin mutabık kalmaları ile değişikliklere açık olduğunu göstermektedir. Ancak sözleşmenin yapılması, tartışılması, kabul ve yürürlüğe girme prosedürlerinin çok uzun zaman ve zahmet gerektirmesinden ötürü Taraf devletlerin ve IMO’ nun bu yaklaşımdan ziyade otonom gemileri MASS çerçevesinde yapılan tanımdan yola çıkarak yeni bir Kod ya da sözleşme yapma ihtimalini kuvvetlendirmiştir. Geleneksel gemilerden otonom gemilere geçiş sürecinde, bu gemileri uzaktan ya da gemi üzerinden işletmek için hangi eğitimlerin gerekeceği belirli değildir. Mevcut STCW Kodunda geleneksel gemiler için çok detaylı ve zamanla güncellenen eğitim ve yeterlik tabloları mevcuttur. Günümüzde, tüm denizcilik eğitimi veren kurumlar STCW Kodunda belirtilen gereksinimleri yerine getirmekle yükümlüdür. STCW Kodundaki gereksinimler, asgari yeterlilik seviyelerini tanımlamaktadır. Ancak günümüzde denizcilik endüstrisi ve teknolojisi hızla ilerlemektedir ve bu sebeple STCW ile belirlenmiş olan eğitim gereklilikleri hızla gelişen teknolojiye adaptasyon konusunda geri kalmaktadır. Gemilerin operasyonlarında, seyir ve deniz mühendisliğinde hatta denizcilik işletmeciliğine ilişkin mevcut bilgilerin gelecekte değişeceği aşıkardır. Geleceğin gemi insanları ister uzaktan ister gemi üzerinde görev yapsınlar yeni ek bilgi ve becerilere dâima ihtiyaç duyacaklardır. STCW Kod uzak kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel kişilerin eğitim gereksinimleri için bir şablon oluşturabilir ancak tek başına bu ihtiyacı karşılayamaz.

#### 4. Literatür araştırması

Literatürde yapılmış çalışmalar incelendiğinde otonom gemilerin ortaya çıkması ile tanım tartışmalarının ve mevcut denizcilik sözleşmelerinin irdelenmesinin başladığını gözlemlemekteyiz.

Ghosh vd. (2014), Denizcilik Eğitim ve Öğretim Enstitülerinin (*Maritime Education and Training-MET*) eğitim ve değerlendirme süreçlerini literatür taraması ile yöntem değerlendirmesi yaparak incelemiştir. Sonuç olarak MET’ lerin sektör paydaşlarının beklentilerini karşılayan yetkin mezunlar yetiştirmesinden sorumlu olduğunu bulgulamıştır. Ayrıca, yaptıkları literatürün taramasında, MET’ ler tarafından kullanılan bazı değerlendirme yöntemlerinde eksiklikler olduğunu tespit etmişlerdir. STCW sözleşmesinin ise standart sağlayamadığını ve denizci eğitiminde daha özgün değerlendirmelere ihtiyaç bulunduğunu tespit etmiştir.

Vallejo (2015), tarafından şimdiye kadar yapılmış olan sözleşmelerin amacının, ticaret gemilerini kullanacak insanların belirli kurallara uyacak şekilde eğitim almalarının sağlanması olduğunu savunmuştur. Ayrıca bu sözleşmeler yapılırken insansız gemilerin henüz ortaya çıkmadığı ve dolayısı ile insansız deniz araçları ihtimali düşünülmeden yapılmış sözleşmeler olduğunu tespit etmiştir. Dolayısı ile bu durumun dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Otonom gemi ile insan faktörü arasındaki ilişkiyi inceleyen Ahvenjärvi (2016), gemi insanların eğitimi konusunda otonom gemi teknolojisinin de düşünülerek gözden geçirilmesi gerektiğini, yapılan çalışmaların ve ulaşılmak istenen asıl hedefin insansız gemilerin emniyetlerinin insanlı bir gemi emniyetinden daha iyi hale getirmek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, otomasyon düzeyine bağlı olarak, otonom gemilerin her halükarda karadan veya gemide insanlar tarafından çalıştırılmasının zorunlu olduğunu bir diğer ifade ile insan unsurunun daima mevcut olacağını, bu sebeple, uzaktan kontrol edecek kişilerin eğitim ihtiyaçlarını ve bunları sağlamak için gerekli olacak tesisleri belirlemenin önemine değinmiştir. Yine çalışmasında, otonom ve insansız gemi operatörlerinin denizcilik eğitim ve öğretimleri açısından, otonom gemileri kullanacak gelecekteki muhtemel kişileri eğitmek için belirlenmiş bir çerçevenin ve hatta ihtiyaç duyulacak ekipmanın bile belirli olmadığını tespit etmiştir.

Ringbom vd (2016), AAWA Araştırması raporunda otonom gemilerin yasal uygunluğunu araştırırken UNCLOS, SOLAS, MARPOL, COLREG, STCW ve MLC sözleşmelerini incelemiştir. Buna göre, mevcut sözleşmelerin gemilerde görev yapan gemi insanları bağlamında yapıldığına dikkat çekmiştir. Ringbom (2019), çalışmasında temel IMO sözleşmelerinden STCW, COLREG ve SOLAS sözleşmeleri üzerinde durarak otonom gemilerin kullanımının teknik ve yasal zorluklarına değinmiştir.



Ringbom vd (2021) bir başka çalışmada ise otonom gemiler konusunu, uluslararası ve ulusal düzeyde hem özel hukuk hem de kamu hukuku dahil olmak üzere çeşitli yasal perspektiflerden araştırmıştır.

Carey (2017: s.8) ise STCW sözleşmesinde geçen “Açık deniz gemisi” tanımından yola çıkarak ilk bakışta otonom gemilere uygulanamayacağını, ancak sözleşmenin amacının denizde can ve mal güvenliğini ve deniz çevresinin korunmasının teşvik edilmesi olduğundan sözleşmenin kıyıda görev yapan personellere de uygulanabilecek şekilde genişletilebileceğinin öngörülebileceğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmada Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Güney Afrika, Singapur, Kanada, Avustralya, Bermuda, Hong Kong ve Yeni Zelanda yasalarında otonom gemi kullanımı konuları araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre, Birleşik Krallık yasalarına göre kendi sularında asgari personel donatımının isteğe bağlı olduğunu dolayısı ile otonom gemilerin bu sulara kullanımının bu açıdan büyük bir yasal engel teşkil etmediği belirtilmiştir. Ancak, Singapur yasalarına göre STCW’ nin kendi sahip olduğu makine gücü ile yürütülen gemilere uygulanması şart koşulduğundan ve mevcut yasal yönetmeliğin bir gemide taşınacak asgari mürettebat sayısını öngördüğü için otonom gemiyi yönetmelik kapsamından muaf tutmak veya gemideki asgari mürettebat sayısı sıfır olan yeni bir gemi sınıfı oluşturmak için yönetmelikte değişiklik yapılmadan otonom gemi kullanımının uygun olmadığı belirtilmiştir. Avustralya, Kanada, Hong Kong ve Bermuda ülkelerindeki yasal düzenlemelerde ise, İdarelerin personel seviyelerini belirlerken takdir yetkisine izin veren öznel bir yaklaşım benimsediğinden, bu ülkelerdeki yasaların mürettebatsız gemileri kapsayabilecektir. Ancak, ABD, Yeni Zelanda ve Güney Afrika gibi ülkelerin bir gemide bulunması gereken personel sayısını ve niteliklerini yönetmeliklerinde belirttiklerinden otonom gemilerin yasal işleyişi önünde önemli bir engel teşkil etmekte olduğu sonucuna varılmıştır (Carey, 2017: s.10).

İnsansız gemilerin yasal zorlukları hakkında yapılan bir diğer çalışmada ise Deketelaere (2017), deniz hukuku ile ilgili farklı uluslararası sözleşmeleri ele almıştır. Araştırmacı çalışmada, insansız gemiler olarak tabir edilen uzaktan kumandalı ve otonom gemilerin mevcut sözleşmelere tabi olup olmayacağı, bu sözleşmelerin insansız gemiler için bir zorluk teşkil edip etmeyeceği ve bu sözleşmelerin kurallarına nasıl uyum sağlayabilecekleri hakkında genel bir bakış ile yaklaşmıştır. Araştırması kapsamında STCW, SOLAS ve COLREG sözleşmeleri incelendiği tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, mevcut geleneksel gemiler için geçerli olan sözleşmelerin uygulama konusunda bazı zorluklar yaşansa da bazı küçük değişiklikler ile insansız gemiler için de geçerli olacağını savunmuştur. Ayrıca, yeni bir mod olan otonom taşıma modunun sözleşme yükümlülüğünü değiştirmeden ürün sorumluluğu kanunlarından ötürü ek yeni bir yükümlülük doğuracağından armatörlerin sorumluluğunun imalatçı ve tasarımcı sorumluluğuna dönüşecektir (Deketelaere, 2017: s.97-98).

Bir diğer çalışmada ise Delgado (2018), insansız gemilerde gemi insanı olmaması hususunun, özel deniz hukuku alanında, birçok sözleşmede insansız deniz araçlarının gemi olarak nitelendirilmesinde temel bir gereklilik olup olmadığını ve bu sözleşmelerde geçen insan unsuruna etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak, mevcut sözleşmelerin denize elverişlilik açısından insansız deniz seferlerini konsept olarak kapsamadığını ifade etmiştir (Delgado, 2018: s.521).

Pense (2018), otonom gemilerde insan faktörüne bağlı risklerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi bağlamındaki faydaların açıklanması için deniz kazalarında insan faktörü ve bir çözüm önerisi olarak IMO’ nun da üzerinde çalıştığı ve özgün adı “*e-Navigation*” olan e-Seyir kavramını çalışmada konu almıştır. Bu bağlamda yaptığı çalışmada insan faktörü ile deniz kazaları arasında ki ilişkiyi ortaya koyarak bir çözüm önerisi olarak e-seyir ile deniz kazalarının azaltılması yönünde tespitler yapmıştır. Çalışmada örnek olarak ele aldığı Costa Concordia kazasının felakete dönüşmesindeki ana etmenin insan hatası olduğunu, insan faktörü bileşenlerinden durumsal farkındalığın önemini belirtmiştir. Ayrıca, e-seyir kavramının temel ihtiyaç ve hedeflerinden olan doğru bilginin en hızlı ve anlaşılabilir olarak iletilmesinin önemini vurgulayarak e-seyir de kullanılacak veri iletişiminin hızlandırılması ile durumsal farkındalığın arttılacağı tespit etmiştir (Pense, 2018).

Ece (2018), otonom gemileri insansız gemiler olarak tanımlayarak bu gemilere ilişkin yapılmış uluslararası bazı çalışmaları, sorunları ve riskleri incelenmiş, bu gemilerin Güçlü ve Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler (GZFT) Analizini yapmıştır. Ayrıca çalışmada, 1982 Uluslararası Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (BMDHS), IMO sözleşmeleri, diğer uluslararası denizcilik

sözleşmeleri ve ulusal mevzuatta bu gemiler ile ilgili tespit ettiği düzenlemeleri gözden geçirmiş olup, söz konusu mevzuatta yapılması gereken düzenlemelere ilişkin bazı öneriler de bulunmuştur.

Bir başka araştırmada ise Allen (2018), insansız gemilerin hukuki durumunun belirlenmesi hususunda insanlı gemilere göre farklı bir muamele yapıp yapılamayacağı ile ilgili farklı görüşleri UNCLOS, STCW, COLREG gibi sözleşmelerin maddelerini irdeleyerek ortaya koymuştur (Allen, 2018: s:489).

Chircop (2018), otonom ticaret gemilerinin uluslararası denizcilik sözleşmeleri ve uluslararası deniz hukuku açısından potansiyel etkilerine ilişkin çeşitli tespitler yapmıştır. Sözleşmelerin etkilenecek kurallarında yorum yolunun açık olmasına rağmen bu şekilde giderilemeyecek durumların da mevcut olduğunu ayrıca kuralların yorumlanmasının beklenmesinden ise durumun netlik kazanması için kuralların değiştirilmesinin tercih edilebileceğini belirtmiştir (Chircop, 2018: s.30). Ayrıca, gelecekte çok yönlü bir insanlı ve insansız gemi karışımının var olacağını, genellikle otonom gemi operasyonlarının yakın mesafe seferlerde kullanılacağını, otonom seyirin geminin ticaret bölgesine göre değişiklik göstereceğini ve bazı ticaret bölgelerinde daha aktif kullanılacağını öngördüğünü belirtmiştir (Chircop, 2018: s.33).

Karlis (2018), gemi insanları ile ilgili sözleşmelerden SOLAS, STCW ve MLC' ye odaklanarak, otonom gemiler konusunu uluslararası deniz hukuku perspektifinden incelemiştir. Bu çalışma ile, gemi sahiplerini yeni bir teknolojiye yatırım yapmaktan veya benimsemekten caydırabilecek olası operasyonel zorlukları belirlemiştir. Sonuç olarak, armatörleri otonom gemi konseptinden caydıracak çeşitli belirsizlik alanları olduğunu tespit etmiştir. Tespit edilen bu belirsiz alanlardan kaynaklı sorunları azaltabilecek öneriler ortaya koymuştur.

Sharma vd. (2019), IMO tarafından tanımlanan II. seviye otonom bir geminin seyirinden sorumlu zabıtları için mevcut STCW yeterliliklerinin çerçevesinin uygunluğunu Anket yöntemi ile Açıklayıcı Faktör Analizi kullanarak araştırmıştır. Sonuç olarak mevcut STCW sözleşmesi Tablo A-II/1' de listelenen "Bilgi, anlama ve uzmanlık" ların bazılarının geçmişte kalacağını ve daha yeni spesifik yetkinlik temalarının edinilmesi gerekebileceğini dolayısı ile seyirden sorumlu zabıtların yeni operasyonel talepleri karşılayabilmek için yeniden vasıflandırılması gerekeceğini tespit etmiştir (Sharma vd. 2019).

Dünya Denizcilik Üniversitesi (*World Maritime University-WMU*), Ulaştırma 2040: Otomasyon, Teknoloji, İstihdam - İşin Geleceği isimli çalışmasında otonom gemileri, üzerinde mürettebat bulunmayan geleneksel gemiler olarak değil; daha ziyade, muhtemelen uzaktan kumanda merkezlerinden gemideki artan sayıda otonom işlevi ve operasyonu kontrol eden daha az sayıda ancak oldukça yetenekli mürettebat üyesine sahip yeni bir gemi türü olarak ifade etmiştir (Schröder-Hinrichs vd, 2019: s.83). Yine aynı çalışma sonuçlarına göre otonom gemiler gemi insanları için iş kaybına neden olmayacak, bu gemiler daha çok yerel ulaşım sisteminin parçası olarak geliştirilecek ve mevcut ulaşım modlarına alternatif yeni deniz yolları oluşturacaktır. Yapılacak işler daha çok dijitalleşeceği için denizciler için yeni beceriler gerekecek ve buna göre de eğitim ve öğretimlerin uyarlanması gerekecektir (Schröder-Hinrichs vd, 2019).

Uluslararası Denizcilik Üniversiteleri Birliği (*International Association of Maritime Universities-IAMU*) 2019 yılında yayınlamış olduğu Küresel Denizcilik Profesyoneli raporunda, denizcilik endüstrisinin öngörülen ihtiyaçlarını karşılamak için ihtiyaç olan yeni denizci konseptini tanımlarken "Profesyonel, kendini uluslararası teknik yeterliklere göre donatmış, üst düzey akademik bilgi-beceriye sahip, insan ilişkileri kuvvetli, etik ve çok kültürlü aynı zamanda sürdürülebilir çevre uygulamaları bilinci olan kişi" olarak tanımlamıştır (IAMU, 2019). Bu rapora göre, geleceğin denizcisi olabilecek kişiler çoklu becerilere sahip, gelişime açık aynı zamanda teknik becerileri de olan ve gerekli akademik eğitimleri alacak olanlar olacaktır.

Ross ve Sandell (2020), yapmış oldukları çalışmada STCW Sözleşmesi, Denizcilik Eğitim ve Öğretiminde (Maritime Education and Training - MET) otonom ve uzaktan kumanda edilen gemiler için ortak müfredatların geleceğini konu edinmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, önümüzdeki 20-30 yılda eğitim gereksinimleri değişmeyecek olsa da, gemi insanlarının eğitiminin değişen denizcilik endüstrisine mutlaka uyum sağlaması gerekmektedir. Günümüzde inşa edilen ve tasarlanan gemilerin çoğu hala geleneksel deniz taşımacılığı için yapılıyor olsa da eğitim kurumlarının eğitim planlarını yenilemeleri gerekmektedir (Ross ve Sandell, 2020).

Deling vd. (2020), MASS araştırma ve testlerinde elde edilen ilerlemelere istinaden gelecekte gemilerin insan müdahalesi olmadan otonom olarak kontrol edilebilip ve işletileceğini vurgulamıştır. Buna rağmen MASS' ın daha geniş bir şekilde uygulanması denizcilik sektörüne mutlaka değişiklikler getirecek, denizcilerin bilgi yapısı, yeteneklerinin geliştirilmesi gibi konularda büyük zorluklar ortaya çıkaracaktır. MASS' ın sahip olacağı entegre köprüüstü sistemleri, çevresel bilgi algısı, çarpışmadan kaçınma yolu planlaması, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut bilişim, büyük veri, otomasyon, uzaktan kontrol, uydu ve iletişim, arıza teşhisi gibi konulardan ötürü yeni teknolojilerin uygulanmasının denizcilerin seyrüsefer bilgi ve becerilerinde yeni gereksinimler getireceğini ve MET üzerinde büyük zorluklar ortaya çıkaracağını değerlendirmiştir (Deling vd. 2020).

Dybvik vd. (2020), uzak kontrol merkezinde çalışması muhtemel kişiler için aranacak gereksinimler hakkında yapılan çalışmaların devam etmesine rağmen tamamen test edilmiş ve doğrulanmış bir eğitim müfredatı bulunmadığını, yapılan çalışmaların daha çok bir öğrenme çerçevesi ve hipotezi oluşturulmaya yönelik olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada açık uçlu sorular kullanılarak hazırlanmış olan yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, Müşteri Değer Zinciri Analizi ile kolayda örnekleme ve Kartopu örnekleme yöntemleri kullanılarak toplanan veriler çapraz vaka sentezi ile analiz edilmiştir.

Mallam vd. (2020), otonom teknolojilerin gelecekteki iş organizasyonu üzerindeki potansiyel etkilerini ve denizcilik operasyonlarında insanların rollerini nitel araştırma tasarımında yarı yapılandırılmış görüşme yöntemi ile araştırmıştır. Verileri altı adımlı tematik analiz çerçevesinde toplayarak analiz ettikleri keşifsel bir çalışma yapmışlardır. Otonom teknolojilerin mevcut durumu ve gelecekteki etkileri hakkındaki bakış açılarını ortaya çıkarmak için endüstri ve akademi içinde çalışan on uzman ile yapılan röportaj ve analiz ile beş ana tema ortaya çıkartmıştır. Bunlar; “Güven, Farkındalık ve Anlayış, Kontrol, Eğitim ve İşin Organizasyonu ile Pratik Uygulama Hususları” dır (Mallam vd., 2020). Sonuç olarak otonom teknolojilerin ilerlemesi devam ettikçe, kritik sistemlerde insanların operasyonlara nasıl ve nerede uyum sağladığına dair daha iyi bir anlayış geliştirmenin önemini ortaya koymuştur.

Bolat ve Koşaner (2021), çalışmasında otonom gemi düzeylerinin nasıl derecelendirildiğini, otonomi düzeylerini belirleyen ölçeklerin neler olduğunu ve otonom gemilerin uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler, rehberler ve ulusal mevzuatlar bağlamında nasıl ele alınabileceğini inceleyen çalışmaların bulgularını sunmuştur. Ayrıca, yapılan çalışmaların genel olarak büyük bir bölümünün denizcilikle ilgili uluslararası sözleşme, kod, karar, sirküler ve yönetmelikleri göz önünde bulundurduğunu, insansız gemilerin ulusal mevzuatlarda ne gibi durumlar doğuracağını ele alan çalışmaların çok kısıtlı olduğunu belirtmiştir (Bolat ve Koşaner, 2021: s.355).

Gholam Reza vd. (2021), ise uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel kişileri insansız gemi operatörü olarak tanımlayarak bu kişilerin eğitim ihtiyaçları ile bunları sağlamak için gerekli olacak tesislerin önemi ve eğitimler hakkında bir çalışma yapmıştır.

Porathe (2021), çalışmasında kara tabanlı uzaktan kontrol merkezinin izleme ve uzaktan kontrol olmak üzere iki önemli ana görevi olduğunu belirtmiştir. Araştırmasında uzak kontrol merkezindeki operatörler ile insan-makine arayüzü arasında ki ilişkiyi denizdeki otonom ve konvansiyonel gemiler ve kısmen insanlı gemilerin mürettebatı ile otomasyon arasında gerçekleşen insan-otomasyon etkileşimini sekiz görev başlığı altında inceleyecek araştırma alanları tasarlamıştır. Bunlar “Trafik ortamının basitleştirilmesi, Gemi trafiğinin öngörülebilirliğinin artırılması, Uzaktan izleme durum farkındalığı, Döngüye hızlı giren ekran (*Quickly Getting In to the Loop Display-QGILD*), Uzak operatör-Köprüüstü arayüzü (*Remote Operator - Bridge Interface-ROBIN*), Cam kutu: Otomasyon şeffaflığı, İnsan müdahalesi ve Devir teslim ile Geleneksel gemilerle denizde etkileşim” dir.

Şahin (2021), IMO' nun en önemli hukuki araçlarından olan SOLAS, COLREG, MARPOL ve STCW sözleşmelerinin otonom gemilere uygulanabilirliği konusunda çalışma yapmıştır. Sözleşmelerde otonom gemilere uyum açısından değişiklik yapılması gerektiği, bu değişikliğin zımni kabul prosedürü ile kolayca gerçekleştirilebileceği ya da daha önce balıkçı gemileri için özel olarak yapılan STCW-F Sözleşmesi gibi ayrı bir sözleşme yapılabileceğini ancak bunun da zorluğunun yeter sayıların sağlanması olabileceğini belirtmiştir (Şahin, 2021, s:210).

Var (2021), ise çalışmasında insansız gemilerin hukuken gemi olarak nitelendirilip nitelendirilemeyeceği olmak üzere, mevcut hukuki düzenlemelerin kapsamına insansız gemilerin dahil

edilip edilemeyeceği, hukuki altyapının insansız gemiler için yeterli olup olmadığı, bu gemilerin hukuki statüsü, tabiiyeti, seyir/sefer hakkı ve gemi insanlarıyla ilgili sorunlar tartışılmıştır.

Yılmaz (2021), otonom gemileri ve uzaktan kumandalı gemileri ulusal ve uluslararası deniz ticareti hukuku kapsamında inceleyerek insan unsuru gözetilerek yapılan sözleşmelerde ki insan unsurunun belirleyiciliğini ifade etmiştir. Ayrıca çalışmasında Türk Ticaret Kanunu (TTK), Lahey/Lahey-Visby Kuralları (LK/LVK), Hamburg Kuralları, Rotterdam Kuralları, BMDHS, MARPOL 73/78, SOLAS, COLREGS ve STCW sözleşmelerinin hükümleri incelenerek bu sözleşmelerdeki eksiklikler tespit edilerek bazı öneriler sunulmuştur.

Coito (2021), mevcut uluslararası düzenin otonom gemi operasyonlarının ortaya çıkardığı zorlukları ne ölçüde ele alabileceğini incelemiştir. Çalışmasında üç temel Sahil Güvenlik görev alanı bağlamında (arama ve kurtarma, denizde uyuşturucuyla mücadele operasyonları ve seyir güvenliği) otonom gemi teknolojisini analiz etmiştir.

Saha (2021), yaptığı nitel çalışmada yarı yapılandırılmış görüşme ile tematik analiz yöntemini kullanarak uzak kontrol merkezini “Sahil Kontrol Merkezi (Shore Control Center-SCC)” ve bu merkezlerde çalışması muhtemel kişileri “operator” olarak ifade ederek Sahil Kontrol Merkezlerinde çalışması muhtemel kişilerin yeterlik gereksinimlerinin haritasını çıkarmıştır. Saha (2021), çalışmasında amaçlı örnekleme yöntemi kullanarak toplanan bilgilerin analizinde TEMİ ve NVIVO araçlarını kullanmıştır. Sonuç olarak, üç anahtar yetkinlik (Sistem anlayışı, iletişim ve teknik bilgi ve denizcilik yeterliği) belirlemiştir. Ayrıca yönetmelik bilgisi, seyir yeterliği ve temel mühendislik bilgilerinin de geliştirilmesi gerektiğine vurgu yaparak yeterlik ve eğitimlerde değişiklik gerektiğini tespit etmiştir.

Amxilatı (2022), otonom denizcilikle birlikte ortaya çıkan yasal sorunları insan unsuru açısından incelemiştir. Otonom gemilerin MASS’ ta belirtilen tam otonom seviyeye ulaşılan kadar tüm aşamalarda insan unsurunun belirleyici bir faktör olacağını belirtmiştir. Bununla beraber MASS ile yapılan geçici tanımın insan unsuru açısından yaratacağı yasal sorunları işlemiştir. Ayrıca yerel denizcilik mevzuatlarında geçen gemi insanı tanımlarının farklılıklarına değinerek yasal zorlukların aşılabilmesi için sahil kontrol merkezlerinde çalışanların gemi insanlarından oluşturulması ile mevzuatlarda ki insan unsuru engelinin aşılması için bir seçenek olduğunu belirtmiştir.

Veitch ve Alsos (2022), otonom gemilerin insan gözetimi ve kontrolü ile ilgili yaptığı deneysel ve sistematik incelemede üç ana soruyu ele alarak kırk iki çalışmayı tümevarımsal analiz yaklaşımı ile incelemiştir. İlgili kaynakların kartopu örneklemesini benimseyen meta-analiz yaklaşımlarından istatistiksel araçların yardımı ile sentezleyen bir inceleme yapmıştır. Bu çalışma ile elde ettiği sorular, günümüzde otonom gemi sistemlerinde insan kontrolünün nasıl benimsendiği, mevcut emniyet endişeleri ve tasarım zorluklarını ele almak için hangi yöntem, yaklaşım ve teorilerin kullanıldığı ile araştırma boşlukları, düzenleyici engeller, teknik eksiklikler ve bunların uygulanmasının önündeki en önemli engellerin neler olduğudur. Sonuç olarak, insan operatörlerin, otonom gemi güvenliğini sağlamada aktif bir rolü olduğu, risk tabanlı tasarımda en yaygın risk değerlendirme araçlarının Sistem Teorik Süreç Analizi ile Bayes Ağları olduğunu ve kıyı tabanlı uzak kontrol merkezi operatörlerinin bu yeni rolleri için yeni yetkinlikler ve eğitimlerin gerekeceğidir.

Bogusławski vd. (2022), Bilgisayar Destekli Web Görüşmesi (*Computer Assisted Web Interviewing-CAWI*) anket yöntemi ile deniz stajyerlerinin otonom denizciliğe yönelik tutumlarını ve bunların iş piyasası üzerindeki etkilerini belirlemek için çalışma yapmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, gelecek nesil denizcilerin otomasyondan çekinmediklerini, becerilerinin otomasyon destekli denizcilikte yararlı olmasını beklemelerine rağmen MET’ lerin kendilerini gelecekteki olası zorluklara hazırlamak için yeterli olmadığını düşünmekte olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun nedenini ise araştırmaya katılanların %41,9’ u nun MET’ lerin müfredatının otonom denizcilik konularında ki eksikliği veya zayıf kapsamı olabileceğini belirtmiştir (Bogusławski vd., 2022).

Otonom gemilerin uluslararası sözleşmelere olan olası etkileri günümüzde de tartışılmaya devam etmektedir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar uluslararası sözleşmelerin insan temelli yapıldığından birçok eksiklikler barındırdığını ve bu boş alanın mevcut teknolojik gelişmelerden dolayı ortaya çıkan yasal boşluğun karşılanması için doldurulmasının önemini belirtmektedir. Yasal boşluklar daha çok otonom geminin gemi olarak kabul edilebilirliği ile başlayıp, gemi olarak kabul edilse bile tam otonom

bir diğer ifade ile insansız olması durumunda geminin sahip olduğu yapay zekanın insanın yerini alabilirliği ile ilgili etik ve teknik tartışmalarla devam etmektedir. Ayrıca, otonom gemi tanımının geminin sahip olduğu otonom derecelendirmeleri ile birlikte anılarak kavamsal açıklamalarının yapıldığı görülmektedir. Bir başka sorunlu konu da otonom gemilerin uzak kontrol merkezleri ile ilgilidir. Bu merkezlerin nereye (karada bir merkez, başka bir gemi üzerinde yada yüzer açık deniz platformunda ...gibi), nasıl yapılacakları, bayrak devletinin mi liman devletinin mi denetimi altında olacağı, bu merkezlerin hukuki statüleri, sorumluluk durumları, kesintisiz bağlantı ve siber güvenlik gibi durumları içermektedir. Yapılan tüm bu çalışmaların otonom gemilerin hukuki statülerini, uluslararası sözleşmelere etkilerini ayrıca emniyet ve güvenlik konularını araştırdıkları görülmektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Çalışmanın amacı kapsamında yapılan literatür taraması ile elde edilen verilerin incelenmesi sonucu, otonom gemi derecelendirilmelerinde bahsedilen uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel gemi insanların durumu STCW sözleşmesi kapsamında incelenmiştir. Verilerin temininde, otonom gemiler hakkında IMO' da yapılan kapsam belirleme çalışmalarına, IMO ve MSC' nin internet kaynaklarından ulaşılarak İngilizce' den Türkçe' ye çevrilerek çalışmaya eklenmiştir. Ayrıca, STCW sözleşmesinin orijinal ve Türkçe metinleri veri temininde önemli rol oynamıştır. Otonom gemiler ve STCW çalışmaları hakkındaki diğer bilgiler, şimdiye kadar yayımlanmış yerli ve daha çok yabancı özgün kitap, makale ve dergiler, ulusal ve uluslararası yayın indeksleri taranarak temin edilmiş ve derlenmiştir. Tüm bu kaynaklardan elde edilen veriler bir kez daha uluslararası kaynaklar ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve çalışmaya entegre edilmiştir.

Sonuç olarak, STCW sözleşmesi çok yönlü olarak incelendiğinde hızla gelişen teknolojiye kaynaklı olarak en başta tanım eksiklikleri olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada uzaktan kontrol merkezlerinde çalışması muhtemel kişiler için literatürde bulunmayan bir tanım önerisi getirilerek bu insanların "otonom gemi insanı" olarak tanımlanabilecekleri önerilmiştir. Yakın bir gelecekte otonom gemilerin uluslararası deniz ticaretinde tamamen insan kontrolünden bağımsız olamayacağı, ayrıca uzaktan kontrol derecesinde STCW' ye ek yeni bir otonom gemi kodu veya yeni bir uluslararası sözleşme ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Buna göre otonom gemilerin uzaktan kontrolünü sağlayacak merkezlerin ve bu merkezlerde görev yapması muhtemel otonom gemi insanların eğitim, sınav, hak ve sorumluluklarının uluslararası standartlar sağlanarak düzenlenmesi ve yasal zorlukların aşılması için çalışmalar yapılabilmesi için bunun bir gereklilik olduğu tespit edilmiştir.

Otonom gemilerin, yakın ve kıyasal seferlerinde egemenlik haklarından ötürü bayrak devleti uygulamalarına tabi olacaktır. Bayrak devleti uygulamalarının ve yönetmeliklerinin otonom gemilerin inşası, uzak kontrol merkezlerinin kurulması, işletilmesi ve bu merkezlerde çalışacak otonom gemi insanların gerekli eğitim standartlarının belirlenmesi, yetkinliklerin ölçümü ve belgelendirilmeleri için gerekli düzenlemeleri yapması gerekmektedir. Ayrıca yine boğaz geçişleri gibi sınırlı suların kullanımı, liman yanaşma ve kalkış operasyonları için kılavuzluk hizmetlerinin zorunlu olduğu durumlarda uygulamanın nasıl yapılacağı ile ilgili bir muafiyet mi sağlanacağı yoksa farklı gereksinimlerin mi isteneceği gibi birçok sorun cevap beklediği tespit edilmiştir. Ayrıca, bayrak devleti denetimlerinin otonom gemilere ya da kontrol merkezlerine nasıl uygulanacağı, bu denetimleri yapacak denetmenlerin nasıl bir eğitime tabi olacakları, bu denetimlerin hangi prosedürler ile izlenmesi gerektiği gibi sorular da akıllarda soru işareti yaratmaktadır.

Bir diğer husus da otonom gemilerin, tam otonom olarak dizayn edilme süreçlerinde çok tehlikeli olarak görülen sıvı ve kimyasal yük taşıyan tankerler, kıtalar arası sefer yapan yolcu gemileri yada tehlikeli yük taşıyan gemilerin bu konsept dışında bırakılacaktır. Bir diğer ifade ile inşa edilecek, ticari yük ya da yolcu taşımacılığında kullanılacak bir geminin otonomi derecesinin belirlenmesinde taşıdığı yada taşıyacağı yükün de belirleyici bir etmen olacağı beklenmektedir. Dolayısı ile bu gemiler daha çok kuru yük, dökme yük ve genel maksatlı yük gemileri olacaktır.

Yapılan uluslararası çalışmalar incelendiğinde, otonom gemi çalışmalarının yoğunluğu ile bilinen kuzey ülkelerinin ortak otonom test alanları oluşturdukları ve bu test alanlarında yapılan araştırma sonuçlarının otonom gemi bilgi ve teknolojisini hızlandırdığı görülmektedir. Üç tarafı denizler ile çevrili ülkemizde ise henüz belirlenmiş bir otonom gemi test alanı yoktur. Ancak tersanelerimizin dünya çapında gemi inşa sanayiindeki yeri göz önüne alındığında yoğun tercih edilen bir durumda

olduğu bilinmektedir. Bu durumda ÷lkemizde otonom gemi teknolojisinin, gemi inşaa sanayisinin ve denizcilik eğitimlerinin gelişiminin sağlanması açısından otonom gemi test alanları belirlenmelidir. Bu test alanlarında yapılacak çalışmalara İdarenin, üniversitelerin, teknoloji ve gemi inşaa sanayicilerinin davet edilerek bilişim vadisi gibi bir platformda toplanarak özendirilmesine, devlet tarafından desteklenmesine, buralarda yapılacak çalışma ve testlere konu ile ilgili araştırmacılara, denizcilik eğitimi veren kurum ve kuruluşlar ile öğrencilerin gözlemlerine açılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Ayrıca çalışma neticesinde otonom gemiler ve otonom gemi insanları ile ilgili sözleşmelerden doğan yasal zorluklar aşılrsa bile gelecekte yaşanabilecek en büyük sorunlardan biri de nitelikli gemi insanı istihdamı olacaktır. Mesleğe yeni başlayacak denizci öğrencilerin gemi üzerinde pratik yaparak teorik eğitimlerini pekiştirmeleri için zorunlu olan stajların gemi insanı eğitimlerinin bir parçası olduğu düşün÷ldüğünde gelecekte bu konunun gerekliliklerinin düzenlenmesi gerekecektir. Ayrıca gemi insanların belli yeterliklerde tecrübe kazanarak zamanla yükselebilmeleri için İdarelere ispatlamaları gereken hizmet süresi ve aranan yeterliği ispatlayabilmesi için İdarenin yapacağı sınavda başarı şartı aranmaktadır. Hatta bazı durumlarda İdarenin yapacağı sınavı girebilmeleri için kurs görme şartı bile aranmaktadır. Bu durumda eğitimler ile ilgili ileride İdarelerin yasal mevzuatlarında doldurması gereken birçok boşluk olduğu aşıkardır.

Bahsedilen sorunların çözüm yolunun üniversitelerden ve eğitim kurumlarından geçmektedir. Şöyle ki, bilimin ve teknolojinin bu denli gelişimi, araştırmacılar ve bilim insanların yaptıkları çalışmalar neticesinde olduğu düşün÷ldüğünde yine bu sorunların çözümü araştırmacılar, bilim insanları ve doğal olarak üniversiteler ve eğitim kurumları olacaktır. Ayrıca, denizcilik sektörü gelecekte bu sorunu yaşamamak için üniversiteleri ve araştırmacıları desteklemelidir. Denizcilik eğitim ve öğretim sistemi ilerleyen teknoloji doğrultusunda geliştirildiği takdirde gelişmiş teknolojiyi efektif olarak kullanabilen nitelikli gemi insanı ihtiyacı çözümlenebilecektir. Üniversiteler otonom gemi projeleri yapan kurumlar ile uluslararası alanda iş birliğine gitmelidir. Mesleki eğitim, tecrübe paylaşımı, teknolojinin yaygınlaştırılması ve kolaylaştırılması (eğitilmelere uzaktan ve kolay erişim, hayat boyu öğrenme kolaylıkları gibi...) gerekmektedir. Ancak, teknolojinin gelişim hızı düşün÷ldüğünde bu sorunun çözüm aciliyeti ortaya çıkmaktadır. Yakın gelecekte mevcut denizcilik eğitim müfredatlarına ek yeni beceri ve yeterliliklere (IT, yapay zekâ, bulut teknolojileri, insan-makine etkileşimleri... gibi) ihtiyaç duyulacak ve bu da eğitimcilerin eğitimi de dahil olmak üzere denizcilik eğitim kurumlarının müfredatında köklü bir değişikliği gerekli kılacağı gör÷lmektedir.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde SOLAS, COLREG ve STCW sözleşmelerinin en önemli denizcilik sözleşmeleri olarak kabul edildiği ancak otonom gemiler bağlamında otonom gemilerin SOLAS ve COLREG sözleşmelerine etkileri ile ilgili özel çalışmalar yapılmış olmasına rağmen STCW sözleşmesi özelinde bir çalışma yapılmadığı gör÷lmüştür. Bu da çalışmanın denizcilik alanında otonom gemilerin STCW sözleşmesine etkilerinin araştırıldığı ilk çalışma olduğundan önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın her bilimsel çalışma gibi bazı kısıtları bulunmaktadır. Çalışmanın ilk kısıtı, otonom gemiler hakkındaki hukuki ve teknik çalışmalar henüz devam etmekte ve sonuçlandırılmamıştır. Bu çalışmalar sonuçlandırılmadığından literatüre her geçen gün yeni yayınlar ve bilgiler girmektedir. Konu hakkında araştırma yapacak olan araştırmacıların çalışmanın tamamlanması itibari ile literatürün genel durumunu görmeleri sağlanacaktır. Çalışma, uluslararası sözleşmelerden STCW sözleşmesi bağlamında ve IMO' nun MSC çalışmaları kapsamında yapıldığından gelecekte diğer araştırmacıların ulusal mevzuatımız bağlamında otonom gemilerin, uzak kontrol merkezlerinin ve bu merkezlerde çalışması muhtemel gemi insanların hukuki durumları, boğazlar ve kısıtlı sularda geçişler, klavuzluk ve VTS hizmetlerinin düzenlenmesi, otonom gemilerin gemi sahibi yada gemi sahibi olmayan işletme firmaları aracılığı ile işletilmesi gibi konular üzerine yapılabileceği önerilmektedir. Bu çalışma sayesinde otonom gemiler ve STCW sözleşmesine etkileri hakkında gelecekte çalışma yapacak araştırmacılar literatür hakkında genel bir bilgi sağlayarak zaman kazanacaklar ve araştırma sürelerinin kısaltabileceklerdir. Ayrıca yapay zekâ, doktrinde henüz kişilik olarak kabul edilmemesinden ötürü bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir. Dolayısı ile bu konu gelecekte başka araştırmacılar tarafından yapay zekanın kişilik olarak kabul edilmesi durumunda ayrı bir araştırma konusu olarak yapılabilir. Bununla birlikte çalışma sonuçlarında değerinilen otonom gemi araştırmalarında önemli bir yeri olan ve bu gemilerin gerekli testlerinin gerçekleştirildiği otonom gemi test alanlarının ÷lkemizde

de oluşturulması ile ilgili çalışmanın yapılması durumunda ülkemizde otonom gemiler hakkında yapılacak çalışmalara büyük fayda sağlayacaktır.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Çalışma, ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazar tarafından yazılan yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

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

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

### **Kaynakça**

**Ahvenjärvi, S.** (2016). The Human Element and Autonomous Ships. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10 (3), 517-520.

**Allen, C. H.** (2018). Determining the legal status of unmanned maritime vehicles: formalism vs functionalism. *Journal of Maritime Law & Commerce*, 49(4), 477-514.

**Amaxilati, Z.** (2022). “The human element in autonomous shipping”. Şu kitapta: Ed. Barış Soyer ve Andrew Tattenborn. *Disruptive Technologies, Climate Change and Shipping*. Informa Law from Routledge, 114-126.

**Baldauf, M., Fischer, S., Kitada, M., Mehdi, R. A., Al-Quhali, M. A., & Fiorini, M.** (2019). Merging conventionally navigating ships and MASS-merging VTS, FOC and SCC?. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 13(3), 495-501.

**Boguslawski, K., Gil, M., Nasur, J. & Wróbel K.** (2022). Implications of autonomous shipping for maritime education and training: the cadet’s perspective. *Marit Econ Logist*, 24, 327–343.

**Bolat, F. ve Koşaner Ö.** (2021). İnsansız Gemilerin Güncel Statüleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23): 341-358.

**Bureau Veritas** (Ekim 2019). Guidelines For Autonomous Shipping (NI641). <https://marine-offshore.bureauveritas.com/ni641-guidelines-autonomous-shipping> (Erişim Tarihi: 27.06.2021).

**Bureau Veritas** (Temmuz 2022). Unmanned Surface Vessels (USV) (NR681). [https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/681-NR\\_2022-07.pdf](https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/681-NR_2022-07.pdf) (Erişim Tarihi: 01.08.2022).

**Carey, L.** (2017). All Hands off Deck? The Legal Barriers to Autonomous Ships. *National University of Singapore Centre for Maritime Law Working Paper*, 17(06), 1-31.

**Chircop, A.** (2018). Testing international legal regimes: The advent of automated commercial vessels. *German Yearbook of International Law*, Forthcoming.

**Coito, J.** (2021). Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities and Challenges in Ocean Law and Policy. *International Law Studies*, 97(19), 260-306.

**Deketelaere, P.** (2017). The Legal Challenges of Unmanned Vessels, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gent Üniversitesi, Deniz Bilimleri Yüksek Lisans Programı, Belçika, Gent.

**Delgado, J. P. R.** (2018). The legal challenges of unmanned ships in the private maritime law: What laws would you change? *Maritime, Port and Transport Law between Legacies of the Past and Modernization*, 5(1), 493-523.

**Deling, W., Dongkui, W., Changhai, H. & Changyue, W.** (2020). Marine autonomous surface ship-a great challenge to maritime education and training. *American Journal of Water Science and Engineering*, 6(1), 10-16.

**Det Norske Veritas** (2013). The ReVolt, A new inspirational ship concept. <https://www.dnv.com/technology-innovation/revolt/#> (Erişim Tarihi: 12.04.2021).

**Det Norske Veritas** (2018). Setting the standards for the future of shipping: DNV GL releases autonomous and remotely operated ship guideline (DNVGL-CG-0264, 2018-09). <https://www.dnv.com/news/rules-for-classification-of-ships-july-2021-edition-203529> (Erişim Tarihi: 28.06.2021).

**Doğru, M., ve Yorulmaz, M.** (2021). Gemilerde Dijitalleşme: Önemi ve Etkileri. *Journal of International Social Research*, 14(77).

**Dybvik, H., Veitch, E., & Steinert, M.** (2020). Exploring Challenges With Designing And Developing Shore Control Centers (SCC) For Autonomous Ships. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, 1, 847-856.

**Ece, N. J.** (2018). Uluslararası Ticaretin Geleceği İnsansız Gemiler: Gzft Analizi ve Hukuki Boyutları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 10(2), 279-302.

**Feyzioğlu, İ.** (2021). Otonom Ticaret Gemilerinin STCW Sözleşmesine Etkisi. (Ed.) Sezer Ilgın ve Bülent Sözer. 2020 Sonrasında Deniz Ticareti ve Sigorta Hukuku: Olası Sorunlar. İstanbul: Vedat Kitapçılık: 437-461.

**Gholam R., E., Enshaei H. & Ghosh S.** (2021). Identifying seafarer training needs for operating future autonomous ships: A systematic literature review. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 14(2): 114-135.

**Ghosh, S., Bowles M., Ranmuthugala, D. & Brooks B. P.** (2014). Reviewing seafarer assessment methods to determine the need for authentic assessment. *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 6(1): 49-63.

**IALA** (2022). IALA VTS Manual Ed.8.2, IALA Recommendation V-103. <https://www.iala-aism.org/product/m0002/> (Erişim Tarihi: 12.07.2023).

**IAMU** (2019). Global Maritime Professional Body of Knowledge. In: IAMU. Tokyo, 2019. <http://idb.iamu-edu.org/> (Erişim Tarihi: 17.07.2023).

**IMO** (1978). STCW-1978 International Convention on standards of training, certification and watchkeeping for seafarers, (07.07.1978-London, United Nations, Treaties and international agreements No: 23001 Vol. 1361 (p.2), Vol. 1362 (p.2)) <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201361/volume-1361-I-23001-English.pdf> <https://treaties.un.org/doc/Publication/UNTS/Volume%201362/v1362.pdf> (Erişim Tarihi: 10.04.2021).

**IMO** (2002). IMO, MSC/Circ.1065, IALA Standards For Training And Certification of Vessel Traffic Service (VTS) Personnel, 13 Aralık 2002.

**IMO** (2003). IMO Assembly 23rd session, Resolution A.947(23) Adopted on 27 November 2003 (Agenda item 17) Human Element Vision, Principles And Goals For The Organization.



[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/A947\(23\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/HumanElement/Documents/A947(23).pdf)  
(Erişim Tarihi: 04.06.2021).

**IMO** (2017). International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW-1978) as amended, including the 1995 and 2010 Manila Amendments, 2017 Edition, London: IMO.

**IMO** (27 Mart 2018). Regulatory Scoping Exercise For The Use Of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Comments on document MSC 99/5/5, 99/5/12. <https://docs.imo.org/Category.aspx?cid=49&session=99> (Erişim Tarihi: 24.05.2021).

**IMO** (25 Mayıs 2018). IMO takes first steps to address autonomous ships. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/08-MS-C-99-MASS-scoping.aspx> (Erişim Tarihi: 05.08.2021).

**IMO** (05 Haziran 2018). Report Of The Maritime Safety Committee On Its Ninety-Ninth Session, MSC 99/22. <https://www.iadc.org/wp-content/uploads/2018/07/MS-C-99-22-Report-Of-The-Maritime-Safety-Committee-On-Its-Ninety-Ninth-Session-Secretariat.pdf> (Erişim Tarihi: 01.08.2021).

**IMO** (12 Ekim 2018). Regulatory Scoping Exercise For The Use Of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), MSC 100/5/6. <https://docs.imo.org/index.html?iframe=https%3A%2F%2Fdocs.imo.org%2FCategory.aspx%3Fcid%3D49%26session%3D99> (Erişim Tarihi: 25.04.2021).

**IMO** (2019). Human Element. Vision, Principles and Goals. <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/VisionPrinciplesGoals-Default.aspx> (Erişim Tarihi: 01.06.2021).

**IMO** (2019). International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), Human Element. <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx> (Erişim Tarihi: 01.06.2021).

**IMO** (2019). List of IMO Conventions, Key IMO Conventions. <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/ListOfConventions.aspx> (Erişim Tarihi: 09.03.2021).

**IMO** (14 Haziran 2019). Interim Guidelines for MASS Trials. MSC.1/Circ.1604.

**IMO** (2021). Autonomous ships: Regulatory scoping exercise completed. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/MASSRSE2021.aspx> (Erişim Tarihi: 11.10.2022).

**IMO** (03 Haziran 2021). Outcome Of The Regulatory Scoping Exercise For The Use Of Maritime Autonomous Surface Ships. MSC.1-Circ.1638.

**Kara, H.** (2020). Gemilerde yapay zekâ kullanımı ve buna dair hukuki sorunlar. Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 10(1), 17-51.

**Karlis, T.** (2018). Maritime law issues related to the operation of unmanned autonomous cargo ships. WMU Journal of Maritime Affairs, 17(1), 119-128.

**Komianos, A.** (2018). The autonomous shipping era. Operational, regulatory, and quality challenges. TransNav The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 12(2), 335-348.

**Kongsberg** (2022). Autonomous Ship Project, Key Facts About Yara Birkeland. <https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/?OpenDocument=> (Erişim Tarihi: 04.07.2022).

**Lloyd's Register** (2017). “LR Code for Unmanned Marine Systems”, Ship Right Design and Construction, February 2017. <https://www.lr.org/en/latest-news/early-adopters-and-innovators-in-connected-assets-on-ships/> (Erişim Tarihi: 04.10.2021).

**Lützhöft, M., Dekker S. W. A.** (2002). On Your Watch: Automation on the Bridge. *Journal of Navigation*, 55(1): 83-96.

**Mallam, S. C., Nazir, S. & Sharma, A.** (2020) The human element in future Maritime Operations – perceived impact of autonomous shipping, *Ergonomics*, 63:3, 334-345.

**Manuel, M. E., & Baumler, R.** (2020). “The Evolution of Seafarer Education and Training in International Law.” Şu kitapta: Ed. Mukherjee, P., Mejia, Jr., M., Xu, J. *Maritime Law in Motion. WMU Studies in Maritime Affairs*, vol 8. Malmö, Sweden: Springer, 471-494.

**MUNIN** (2015a). Final Report Summary (314286). <https://cordis.europa.eu/project/id/314286/reporting> (Erişim Tarihi: 10.02.2021).

**MUNIN** (2015b). Final Report: Shore Control Centre (D8:8 Final Report: Shore Control Centre). <http://www.unmanned-ship.org/munin/news-information/downloads-information-material/munin-deliverables/> (Erişim Tarihi: 12.02.2021).

**Nippon Foundation** (2019). The Nippon Foundation, Who we are? <https://www.nippon-foundation.or.jp/en> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).

**Nippon Foundation** (2022). The Nippon Foundation, MEGURI2040 Fully Autonomous Ship Program. <https://www.nippon-foundation.or.jp/en/news/articles/2022/20220118-66716.html> (Erişim Tarihi: 10.10.2022).

**Norwegian Forum for Autonomous Ships** (2017a). NFAS, About us. <https://nfas.autonomous-ship.org/about-us/> (Erişim Tarihi: 01.03.2021).

**Norwegian Forum for Autonomous Ships** (2017b). “Definitions for Autonomous Merchant Ships”, Norwegian Forum for Autonomous Ships. First Public Revision. <https://nfas.autonomous-ship.org/wp-content/uploads/2020/09/autonom-defs.pdf> (Erişim Tarihi: 01.03.2021).

**NYK** (2019). NYK Conducts World's First Maritime Autonomous Surface Ships Trial. [https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930\\_01.html](https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930_01.html) (Erişim Tarihi: 03.03.2021).

**NYK** (2022). Documentary of Fully Autonomous Ship Project Released. [https://www.nyk.com/english/news/2022/20220425\\_01.html](https://www.nyk.com/english/news/2022/20220425_01.html) (Erişim Tarihi: 01.07.2022).

**Parasuraman, R., Sheridan T. B. & Wickens C. D.** (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30(3): 286-297.

**Pense, C.** (2018). Deniz kazalarında insan faktörü ve bir çözüm olarak e-seyir. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 72-86.

**Porathe T.** (2021). Autonomous Ships: A Research Strategy for Human Factors Research in Autonomous Shipping.

**Resmî Gazete** (20.04.1989). Gemiadamlarının Eğitim, Belgelendirilme ve Vardiya Standartları Hakkında Uluslararası Sözleşmeye Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun, 20152. [http://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR\\_KARARLAR/kanuntbmmc072/kanuntbmmc072/kanuntbmmc07203539.pdf](http://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR_KARARLAR/kanuntbmmc072/kanuntbmmc072/kanuntbmmc07203539.pdf) (Erişim Tarihi: 06.12.2021).

**Resmî Gazete** (29.09.2003). Milletlerarası Sözleşme, 2003/6109 Gemiadamlarının Eğitim, Belgelendirilme ve Vardiya Standartları Hakkında Uluslararası Sözleşme' ye Katılmamızın Hakkında Karar, 25244. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2003/09/20030929.htm> (Erişim Tarihi: 06.12.2021).

**Ringbom, H., Collin, F. & Viljanen, M.** (2016). AAWA, Remote and Autonomous Ships: The Next Steps. London: Rolls-Royce plc. D4.

**Ringbom, H.** (2019). Regulating autonomous ships-concepts, challenges and precedents. *Ocean Development & International Law*, 50(2-3), 141-169.

**Ringbom, H., Røsæg E. & Solvang T.** (2021). *Autonomous ships and the law*. Oxon ve New York: Routledge.

**Rødseth, Ø. J., Nordahl, H.** (2017). Definition of autonomy levels for merchant ships. *Trondheim: Norwegian Forum for Autonomous Ships*.

**Rødseth, Ø. J., Nordahl, H. & Hoem, A. S.** (2018). Characterization of Autonomy in Merchant Ships. 2018 OCEANS-MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO): 1-7.

**Rolls-Royce** (2016). "Remote and Autonomous Ships", The Next Steps AAWA Position Paper, [Elektronik Sürüm]. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/ship-intel/aawa-whitepaper-210616.pdf> (Erişim Tarihi: 04.05.2021).

**Roos, N., & Sandell, P.** (2020). STCW-convention and future of joint curriculums for autonomous and remotely operated vessels in maritime education and training (MET). In *Maritime Transport VIII: proceedings of the 8th International Conference on Maritime Transport: Technology, Innovation and Research: Maritime Transport'20* (pp. 118-124). Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques.

**Saha, R.** (2021). Mapping competence requirements for future shore control center operators. *Maritime Policy & Management*, 1-13.

**Schiaretti, M., Chen, L. & Negenborn, R. R.** (2017). "Survey on Autonomous Surface Vessels: Part I- A New Detailed Definition of Autonomy Levels." Şu kitapta: Ed. Tolga Bektaş, Coniglio S., vd. *Computational Logistics ICCL Lecture Notes in Computer Science*, vol 10572. Cham, Switzerland: Springer, 219-233.

**Sharma, A., Kim, T. E., Nazir, S. & Chae, C. J.** (2019). Catching up with time? Examining the STCW competence framework for autonomous shipping. (Ed.) Chong-Ju Chae. *Proceedings of the Ergoship Conference*. Norway, Haugesund: 87-93.

**Schröder-Hinrichs, J. U., Song, D. W., Fonseca, T., Lagdami, K., Shi, X., & Loer, K.** (2019). *Transport 2040: Automation, technology, employment-The future of work*. World Maritime University, Transport, 2040.

**Soyer, Barış** (2019). "Autonomus vessels and third-party liabilities: the elephant in the room." Şu kitapta: Ed. Barış Soyer ve Andrew Tettenborn. *New Technologies, Artificial Intelligence and Shipping Law in the 21st Century*. Exeter, Devon: Taylor & Francis, 105-115.

**Sözer, B.** (2019). Mürettebatsız Gemiler. Deniz Ticareti, Temmuz: 64-67. [https://www.denizticaretodasi.org.tr/media/SharedDocuments/DenizTicaretDergisi/temmuz\\_2019.pdf](https://www.denizticaretodasi.org.tr/media/SharedDocuments/DenizTicaretDergisi/temmuz_2019.pdf) (Erişim Tarihi: 10.02.2021).

**Sözer, B.** (2020). Self-Steering Ships. Galatasaray Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 2(96), 1345-1380.

**Şahin, A. E.** (2021). A Brief Review of the Applicability of International Maritime Organization (IMO) Legal Instruments to Autonomous Ships.” Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi, 3(2), 203-213.

**TDK** (2022). <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 04.08.2022).

**Tettenborn, Andrew** (2019). “Who is the master now? Regulatory and contractual challenges of unmanned vessels.” Şu kitapta: Ed. Barış Soyer ve Andrew Tattenborn. New Technologies, Artificial Intelligence and Shipping Law in the 21st Century. Exeter, Devon: Taylor & Francis, 129-147.

**Topsoy, F.** (2013). Uluslararası Deniz Hukuku Kuralları Işığında Gemi Trafik Hizmetleri (VTS) Sistemi ve Operatörlerinin Hukukî Statüsü. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 17 (2), 899-938.

**Ulusoy, Ü. H.** (2013). Uluslararası Gemi adamları sözleşmesi (STCW1978) ve Değişiklikleri Örneğinde Uluslararası Antlaşmaların Türk Hukuku’nda Yürürlüğü ve Yargısal Denetimi Sorunu. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 62(2), 501-538.

**Vallejo, D. A. G.** (2015). Electric Currents: Programming Legal Status into Autonomous Unmanned Maritime Vehicles. Case Western Reserve Journal of International Law, 47(1), 405- 428.

**Var, T. K.** (2021). Evaluation of Crewless (Unmanned) Ships within Context of the Sea and Maritime Law. Banka ve Ticaret Hukuku Dergisi, 37(1), 153-194.

**Veitch, E., Alsos, O. A.** (2022). A systematic review of human-AI interaction in autonomous ship systems. Safety science, 152, 105778.

**Yılmaz M.** (2021). Deniz Ticareti Hukukunda Otonom Gemiler. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

**Yorulmaz, M. ve Derici, M.** (2023). Gemi 4.0: Kavramsal İnceleme ve Gemi Kaptanlarının Görüşleri. Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, 12(23), 1-14.

**Yorulmaz, M. ve Karabulut, K.** (2020). Deniz Taşımacılığında Akıllı Gemiler: Gemi Kaptanlarının Bakış Açısı. Ekonomi İşletme ve Maliye Araştırmaları Dergisi, 3(1): 40-54.

**Yorulmaz, M.** (2022). Kişisel görüşme. 06 Kasım, KOCAELİ.

## Research Article

# Modeling Internet of Things Software for Public Transportation

Sadik Arslan<sup>1,2,\*</sup>, Geylani Kardas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> International Computer Institute, Ege University, Izmir, Türkiye

<sup>2</sup> Automotive Software Engineering, Vestel Elektronik A.Ş. Izmir, Türkiye

\*Correspondence: [sadik.arslan@vestel.com.tr](mailto:sadik.arslan@vestel.com.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1328020

**Abstract:** The Internet of Things (IoT) is a promising domain and one of the leading technologies used in public transportation in recent years. However, in addition to the heterogeneity and high complexity problems that are usually observed in the development of IoT systems, the specific needs of public transportation domain make the construction of such systems even harder for the public transportation. This paper proposes the use of a domain-specific modeling language (DSML), called DSML4PT, to facilitate the design and implementation of IoT-based public transportation systems. A metamodel is introduced that enables modeling IoT-based applications according to the different viewpoints and leads to the model-driven engineering of such applications for different IoT-based public transportation platforms. Furthermore, originated from this metamodel, design and implementation of the DSML4PT language with including its syntax and semantics definitions are all discussed in this paper. Use of this DSML supports both the design of the IoT-based public transportation software graphically and the automatic generation of the code required for the implementation. Based on the conducted case study, it has been observed that approximately 80% of a public transportation application can be generated only with using DSML4PT.

**Keywords:** Internet of Things, public transportation, smart cities, model-driven engineering, domain-specific modeling language

## Toplu Taşıma İçin Nesnelerin İnterneti Yazılımlarının Modellenmesi

**Özet:** Nesnelerin İnterneti (IoT) pek çok alanda olduğu gibi son yıllarda toplu taşımada da sıklıkla kullanılan teknolojilerin başında gelmektedir. Ancak, IoT sistemlerinin geliştirilmesinde genellikle gözlemlenen heterojenlik ve yüksek karmaşıklık sorunlarına ek olarak, toplu taşıma alanının kendine özgü ihtiyaçları, toplu taşıma için IoT tabanlı sistemlerin inşasını daha da zorlaştırmaktadır. Bu makalede, IoT-tabanlı toplu taşıma sistemlerinin tasarımını ve uygulanmasını kolaylaştırmak için DSML4PT adlı alana özgü bir modelleme dilinin (DSML) kullanılması önerilmektedir. IoT-tabanlı uygulamaların farklı bakış açılarına göre modellenmesini sağlayan ve bu tür uygulamaların farklı IoT-tabanlı toplu taşıma platformları için model güdümlü mühendisliğine imkan veren bir üstmodel sunulmuştur. Ayrıca, bu üstmodele dayanan DSML4PT dilinin sözdizimi ve anlambilim tanımları da dahil olmak üzere tasarımı ve uygulanması bu makalede tartışılmaktadır. Bu DSML'in kullanımı, hem IoT tabanlı toplu taşıma yazılımının görsel olarak tasarlanmasını hem de uygulama için gerekli kodun otomatik olarak oluşturulmasını destekler. Yürütülen vaka çalışmasına dayanarak, bir toplu taşıma uygulamasının yaklaşık %80'inin yalnızca DSML4PT kullanılarak üretilebildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nesnelerin İnterneti, toplu taşıma, akıllı şehirler, model-güdümlü mühendislik, alana-özümlü modelleme dili

## 1. Introduction

Today, systems such as fare collection, pollution measurement, passenger counting, vehicle system management, passenger information, advertisement management, vehicle tracking are used frequently in public transportation. These systems can work together or be standalone. Public transportation systems can be used in various environments such as buses, subways, trains and trams. In these environments, systems are exposed to harsh conditions due to high temperature differences, constant vibration, rain, sun and mobility (Evin et al., 2020).

As being one of the most promising technologies today, the Internet of Things (IoT) is used in many domains such as smart cities, public transportation, field monitoring, military, agriculture and healthcare. IoT is a structure where things are connected to each other and to the rest of the Internet. “Things” are any units that can connect to the Internet and exchange information. In IoT, objects are interconnected and can also exchange data (Rayes and Salam, 2019).

Heterogeneity and complexity of the hardware and software being used cause very important problems in the development of IoT-based public transportation systems. There is a wide variety of hardware and software in public transportation vehicles and in the cloud/server environment. Each unit in the system has its own development environment and settings. Especially the memory and processor power in the end devices are very limited (Aydin et al., 2019). Besides, hardware and software are highly interdependent. Although it is quite common to develop platform-dependent software in these systems, deployment and execution of the software directly on a different platform is challenging, even if the same programming language or software development tools are used. Moreover, the differences of various IoT systems, mobility issues, working in harsh physical conditions and the use of domain-specific “System-on-Chip” (SoC), hardware and their varying standards and protocols also make the implementation of IoT-based public transportation applications difficult (Arslan and Kardas, 2021).

As successfully applied in many other domains (e.g. (Brambilla et al., 2017; Lelandais et al., 2019; Mohamed et al., 2021), model-driven engineering (MDE), mostly supported with the use of domain-specific languages (DSLs) (Kosar et al., 2019; Wasowski and Berger, 2023) and domain-specific modeling languages (DSMLs) (Kardas et al., 2023), may also help overcoming the abovementioned difficulties of IoT-based public transportation applications and facilitate the system development by leveraging the abstraction level during design and generating many components automatically for the complete implementation, i.e. software models of the public transformation systems can be automatically manipulated and transformed to the executable and deployable artifacts. Hence, in this paper, we investigate modeling IoT-based public transportation systems and introduce a DSML, called DSML4PT to support MDE of such system.

DSML4PT language’s syntax is based on a metamodel enabling modeling IoT-based applications according to the different viewpoints and leads to the MDE of such applications for different IoT-based public transportation platforms. Furthermore, originated from this metamodel, design and implementation of the DSML4PT language, including its syntax and semantics definitions, are discussed in this paper. Use of this DSML supports both the design of the IoT-based public transportation software graphically and the automatic generation of the code required for the implementation. Evaluation of the usability of DSML4PT through a case study is also discussed in this paper.

The remainder of the paper is organized as follows: Section 2 gives the related work. Section 3 discusses a metamodel for modeling the public transportation software. Section 4 gives the syntax definition of DSML4PT based on the proposed metamodel. Transformational semantics of the language is given in Section 5. Section 6 discusses the use and evaluation of DSML4PT and Section 7 concludes the paper.

## 2. Related Work

In this section, firstly, studies proposing MDE for the development of IoT systems are reviewed. In the second part, MDE studies specific for IoT-based public transportation systems are discussed.

### 2.1. MDE Studies for IoT Applications

Many researchers find MDE promising and propose modeling approaches, languages and MDE tools for overcoming IoT development challenges (Arslan et al., 2023). For instance, Harrand et al. (2016)

focused on the fundamental IoT problems such as deployment and heterogeneity and they proposed the use of the "Internet of Things Modeling Language" (ThingML). ThingML supports visual modeling structures such as state and component diagrams, and modeling IoT applications covering different perspectives through a platform-dependent modeling language and from the architectural level to the behaviour level of individual devices. Platform dependent code generation such as Arduino, Raspberry Pi, Intel Edison and popular programming languages (C/C++, Java, Javascript) are supported in ThingML. Recent extensions of ThingML, like AIoTM (Hu et al., 2023), exists for the construction of the Artificial Intelligence-based IoT components across different modeling levels for the purposes of intelligent sensing and control. Similar to ThingML, the Vorto project (The Vorto project, 2018) led the creation of the Vorto DSL which is used to specify manufacturer-independent abstraction layers that describe the functions and features of tools at different levels of detail.

An MDE development framework, named UML4IoT was developed for industrial IoT production systems (Thramboulidis and Christoulakis 2016). Based on the well-known Unified Modeling Language (UML), IoT components in a production system were modeled in this study. Similarly, MDE applications for different IoT devices is being carried out in the industry. For example, a multi-view modeling approach was used in (Muthukumar et al., 2019) to perform design and verification of the Industrial Internet of Things (IIoT) enabled control in process industries. Use of the proposed MDE and IIoT architecture was exemplified for the quadruple tank process, a benchmark problem in control. Ahmed et al. (2019) introduced an interoperability architecture for data exchange in the smart gas distributed networks based on the MDE projection and transformation concepts. Metamodels and models for different abstraction layers of data exchange via smart hubs were described and their use in a smart gas distribution grid was discussed.

COMFIT environment (Faria et al., 2017) presented an application development paradigm based on the MDE infrastructure, where an application management and execution module use the cloud interface to develop automated IoT applications. The methodology in (Costa et al., 2020), which combined MDE and service-oriented architecture (SOA), provided different levels of abstraction in building software components of IoT systems. Thus, in IoT, network resources are dynamically allocated using application programming interfaces (APIs). An integrated MDE methodology to design and deploy a network of things was presented in (Berrouyne et al., 2022). The use of this methodology may provide the abstraction of the heterogeneous things and the control of these things as well as a mechanism to define constraints on the network. With this methodology, it is also possible to process the IoT models and generate the network artifacts by using a code generator, based on model transformation.

MDE has also been adopted for the Wireless Sensor Networks (WSN) especially considering the system implementation on the operating systems such as TinyOS and Contiki. Studies like (Marah et al., 2021; Vorapojpisut, 2018) introduced MDE techniques for graphical modeling of hardware modules, sensors, components and WSN configurations that also enables code generation for WSN programming languages such as nesC.

To cope with the challenges of IoT prototyping which are originated from cross-domain interoperability, reusability and customization cost and expertise requirement, Xiao et al. (2019) proposed a model-driven service composition architecture based on the finite-state machine descriptions. Model-based simulation of realistic smart home scenarios was discussed in (Kölsch, 2020) where IoT devices were used in the implementation of the related simulation model. The model was separated into three levels covering the simulation of core components of the house, events in the house and calculation of the power consumption of the house. A model-based design approach was applied in (Kotronis et al., 2018) for healthcare to create the structure and the interconnection of an IoT-based system-of-systems for the remote monitoring of elderly subjects. With MDE, it is also possible to formalize the mathematical relationships and validation expressions among the components and operational requirements of the system.

Although the above-mentioned studies provide various noteworthy approaches for modeling IoT systems, they do not address the problems of modeling IoT-based public transportation systems and only provide MDE methods and/or tools for the domains other than the public transportation.

## 2.2. MDE Studies for IoT-based Intelligent Transportation and Public Transportation

In the domain of intelligent transportation, which may have co-working spaces with public transportation, only a very limited number of studies exist for proposing modeling or discussing the case studies of applying MDE for IoT-based intelligent and or public transportation systems.

IADev framework (Rafique, 2020) enabled SOA-based IoT development according to model-driven development principles. The conceptual models of IADev lead the development process, i.e. modeling in IADev allows for IoT service orchestration by also providing transformation methods and automated platform-specific code development. The case study of this general-purpose framework was made over an intelligent transportation system. More emphasis was placed on traffic management and road safety. Similarly, a DSL, called SimulateIoT-Mobile, an extension of SimulateIoT that includes support for simulating IoT systems with mobile nodes was introduced in (Barriga et al., 2023). Although the main domain of the proposed DSL is mobile devices rather than the public transportation overall, an IoT simulation of personal mobility devices (PMD) based on public bicycles was also considered as one of the examples in this study.

Hause et al. (2018) stated that IoT is very important in public transportation and IoT system development can be facilitated with MDE approaches. Hence, they introduced an MDE approach for the development of IoT systems in smart cities. How to model both the whole system for components such as traffic lights, sensors, and the management of complexity and synchronization between the systems was discussed.

Iovino et al. (2019) provided a case study of an integrated card-based access control system authorizing people based on Near Field Communication (NFC) tags. An MDE approach was proposed that supports semi-automatic code generation in an IoT infrastructure. A solution was given for the pass authorization field with NFC. The NFC system used here is only considered as the system to be used for access at the doors. In fact, NFC systems can also be used for fare collection, which is one of the public transportation systems. However, that was not considered in (Iovino et al., 2019). With the use of NFC in public transportation, fare collection is provided together with special hardware structures, called SAM modules. Thus, the fare collection process becomes secure. In addition, NFC payment is only a small part of the entire fare collection system.

The ENACT DevOps (EDO) (ENACT Project, 2018) framework aimed to ensure the continuity of DevOps service quality and the best implementation of the development lifecycle of IoT systems, and hence it defined the necessary components in this direction. In addition, the difficulties experienced when using the ENACT tool in a testbed environment were discussed (ENACT Project, 2018). These difficulties mainly arose from the heterogeneity inside IoT platforms. Offering a DevOps approach, ENACT also examined similar IoT problems not only in terms of development but also in field operations. The test bed in this study can be used in intelligent transportation systems, especially for train control.

Vitruvius (Fernandez et al., 2014) is a platform where users without programming knowledge can design and quickly implement rich Web applications based on real-time data consumption from interconnected vehicles and sensors. A system that provides an MDE development environment for this platform, which can be installed on vehicles, was realized. The general aim is to design a system with MDE, which will collect and monitor sensor information such as CO<sub>2</sub> amount, speed, location information, regardless of what type of vehicle (e.g., automobile, truck).

Mazzini et al. (2015) presented an MDE methodology to provide effective and efficient protection mechanisms that include real-time, non-functional features such as security and performance to be used in IoT system components. Although, it was mentioned that this new methodology can also be applied to the issues of verifying data distribution in Intelligent Transport Systems, there is no discussion of how the modeling capabilities exactly supported eliminating these issues and uncertainties.

Our work contributes to these efforts by introducing the first full-fledged modeling language for the MDE of IoT-based public transportation systems according to the different modeling viewpoints supporting high mobility, standards and protocols specific for public transportation, various SoC and hardware components being used as well as different underlying operating systems. Both all-embracing



metamodel of the entities of the IoT-based public transportation systems and automatic transformation of the model instances of this metamodel brought by the use of this new language lead to the design and implementation of wide range applications that will be deployed on different IoT-based public transportation platforms in contrast to the above mentioned studies which mostly consider specific case studies of public transportation, limit the implementation platforms and rarely support the automatic generation of the executables for the modeled systems.

### 3. A Metamodel for Public Transportation Software

The abstract syntax is used in DSMLs to describe concepts and their relationships in a domain. Additionally, abstract syntax is used to describe how the vocabulary of concepts provided by the language can be combined to create models or programs (Wasowski and Berger, 2023). From the MDE perspective, an abstract syntax is usually provided by a metamodel definition and metamodels define what models should look like (Kühne, 2022). Hence, the abstract syntax of our DSML (DSML4PT) for IoT-based public transportation applications is also built with a metamodel. This section introduces this metamodel.

The metamodel, which constitutes the abstract syntax of DSML4PT, was developed in this study by considering the connections and main elements of the public transportation systems including IoT technologies. Related metamodel entities and their relations are derived based on examining various public transportation specifications (such as (ITxPT, 2017; ITS Standardization, 2021; ISO 24014-1:2015, 2015)) and requirements of developing IoT software for public transportation systems discussed in (Arslan and Kardaş, 2021). The metamodel is divided into three different viewpoints. These are named IoT Core, Public Transport, and Service/Cloud. These viewpoints are based on the relationships of the key units in public transportation IoT systems. The metamodel is encoded with Eclipse Ecore (The Eclipse Foundation, 2015) and hence it is possible to integrate the metamodel with various MDEtools based on Eclipse Modeling Framework (EMF).

Grouping the units of the mass transit IoT domain according to different viewpoints in our metamodel does not only facilitate the development of the DSML4PT's syntax, but also enables this syntax to be more easily interpreted and used more effectively by public transportation IoT developers. Updating one of the related viewpoints is much easier than using a single viewpoint and working on a large supermodel. In any DSML4PT viewpoint, the complexity of removing and replacing elements or relations is reduced. However, with the multiple viewpoint structure, it is also possible for developers to extend the existing syntax in case of some special needs in the future.

The viewpoints developed for DSML4PT are discussed in the following subsections with their Ecore diagram representations. In each diagram of the viewpoints, metamodel entities (elements, units) are indicated by yellow rectangles. In addition, elements having the characters “<<” and “>>” prior to their names show relationships with other viewpoints. These elements are common elements between viewpoints, i.e. they exist separately in different viewpoints. For example, in Figure 1 where the IoT Core viewpoint is found, the Architecture entity, which is the common element of all viewpoints, is used with <<Public Transport Viewpoint>> and <<Service/Cloud Viewpoint>>. Elements and associations covered in each viewpoint are indicated in the text with italics.

#### 3.1. IoT Core Viewpoint

The IoT Core viewpoint includes elements that define a generic IoT device, regardless of the characteristics of public transportation devices. These devices are generally IoT devices with microcontrollers such as STM32 and ArduinoUno that do not contain an operating system. They do not have units such as window systems or protocols that are specific to the operating system. When the studies in the literature are examined, there are examples of metamodels that focus on general use platforms such as Raspberry Pi and Arduino (Iovino et al., 2019; Alulema et al., 2017; Asici et al., 2019). However, platforms that are thought to be similar are actually can be quite different. Raspberry Pi devices are actually devices that contain an operating system. When it is possible to work in detail, it is seen that these development platforms actually have features such as window system, file and network manipulation, which include operating system features. Therefore, in the IoT Core viewpoint, there is no support for devices with microprocessors. In order to provide more comprehensive support, the support of microprocessor devices has been taken to the Public Transport viewpoint. There is no

example of this structure as developed in our study. Microprocessor and microcontroller structures are separated for the first time at the metamodel level.

There are also examples of IoT metamodels in the WSN domain (Marah et al., 2021; Asici et al., 2019). However, in these examples, studies can only be carried out on special hardware platforms where it is possible to use operating systems such as TinyOS or Contiki. The metamodels in these studies are different from the models that can be used in the studies in the general IoT domain, and their common usage is very difficult. In (Dautov and Song, 2019), the fleet management supermodel of the system consisting of IoT devices is presented. There is no compatibility with the target of our study, as the focus is not on how the IoT system works, but on how the fleet is managed. With the use of the metamodel found in (Hassine et al., 2017), the system is mostly created with elements such as the IoT device itself and the human user. However, with such an approach, the IoT system can be modeled as a general view, and human and device interaction can be shown. This approach is incomplete, and our metamodel focuses on the interactions of the working units of the system, where the software code can be generated, completely different from this structure.

Figure 1 shows the IoT Core viewpoint of our metamodel. The *Architecture* element of the metamodel is the basic node from which the whole system is derived. From this node, other viewpoints of the system can also be generated. The *Architecture* element is in a has-a relationship with other elements derived from it. The *Controller* element determines the platform type of our microcontroller system. The type of microcontroller is selected with the *TypeController* variable. The communication interface type and parameters of the system are set with the *Communication* element derived from the Controller element. The *TypeCommunication* variable provides a selection of interfaces such as Wifi and Bluetooth. The programming language selection is provided by the *Language* item. The language in which the programming will be made is selected with the *TypeLanguage* variable. There are *Input* or *Output* elements derived from the *Port* abstract element to ensure the use of the sensors and actuators to be used. *Sensor* elements are derived from *Input* elements, and *Actuator* elements are derived from *Output* elements. Analog or digital type ports can be selected from the *TypePort* variable. Sensor types such as temperature and humidity are selected from the *TypeSensor* variable. *TypeActuator* variable includes actuators such as buzzers and speakers.

### 3.2. Public Transport Viewpoint

Public Transport viewpoint includes elements that describe the unique features of a public transportation system. In this viewpoint, the difference between public transportation devices from general IoT devices is defined at the metamodel level. It contains elements and relationships that enable the modeling of the domain. No specific metamodel for public transportation has been encountered in any source in the literature. Starting from the processor level, this metamodel has great differences such as supporting special hardware, standards and protocols created for general use metamodels. Microprocessor families working with the operating system are reflected in the metamodel in great detail from this point of view. Figure 2 shows the entities and their relationships in our metamodel's Public Transport viewpoint.

*Architecture* element common with other perspectives is the starting point of the Public Transport viewpoint. The *SoC* element provides the definition of the SoC platform to be used in the public transportation IoT system. Platforms such as iMX, Sitara, Raspberry Pi can be selected with the *TypeSoC* variable. With the *OperatingSystem* element derived from the *SoC* element, the operating system to be used in the public transportation IoT device is added. With the *TypeOperatingSystem* variable, operating systems such as Linux and derivative operating systems as well as Andorid Things can be selected. The window system to be used in IoT devices is made with the *TypeWindowSystem* variable in the *WindowSystem* element. In this variable, there are window systems such as X and Wayland. The language of the program to be used is set with the *Language* element derived from the *WindowSystem* element. The *TypeLanguage* variable enables the programming language to be selected among languages such as C, C++, Java, Python. *SpecialHardware* is the item that enables the support of public transportation specific hardware. With the *TypeSpecialHardware* variable, hardware such as SAM, SIM, which is thought to be used, is selected. Setting of standards and protocols specific to public transportation is done with *Standards* and *Protocols* items. With *TypeStandards* and *TypeProtocols* variables, it is possible to select public transportation specific standards such as ITxPT and protocols

such as CCTalk. With the *Communication* element derived from the *SoC* element, the communication interface type and parameters of the system are determined. *TypeCommunication* variable enables the use of interfaces such as Wifi and Bluetooth. Similar to the IoT Core viewpoint, *Input* or *Output* elements derived from the *Port* abstract element are used to enable the use of sensors and actuators. Sensor elements are derived from *Input* elements, and *Actuator* elements are derived from *Output* elements. Analog or digital type ports are selected from the *TypePort* variable.

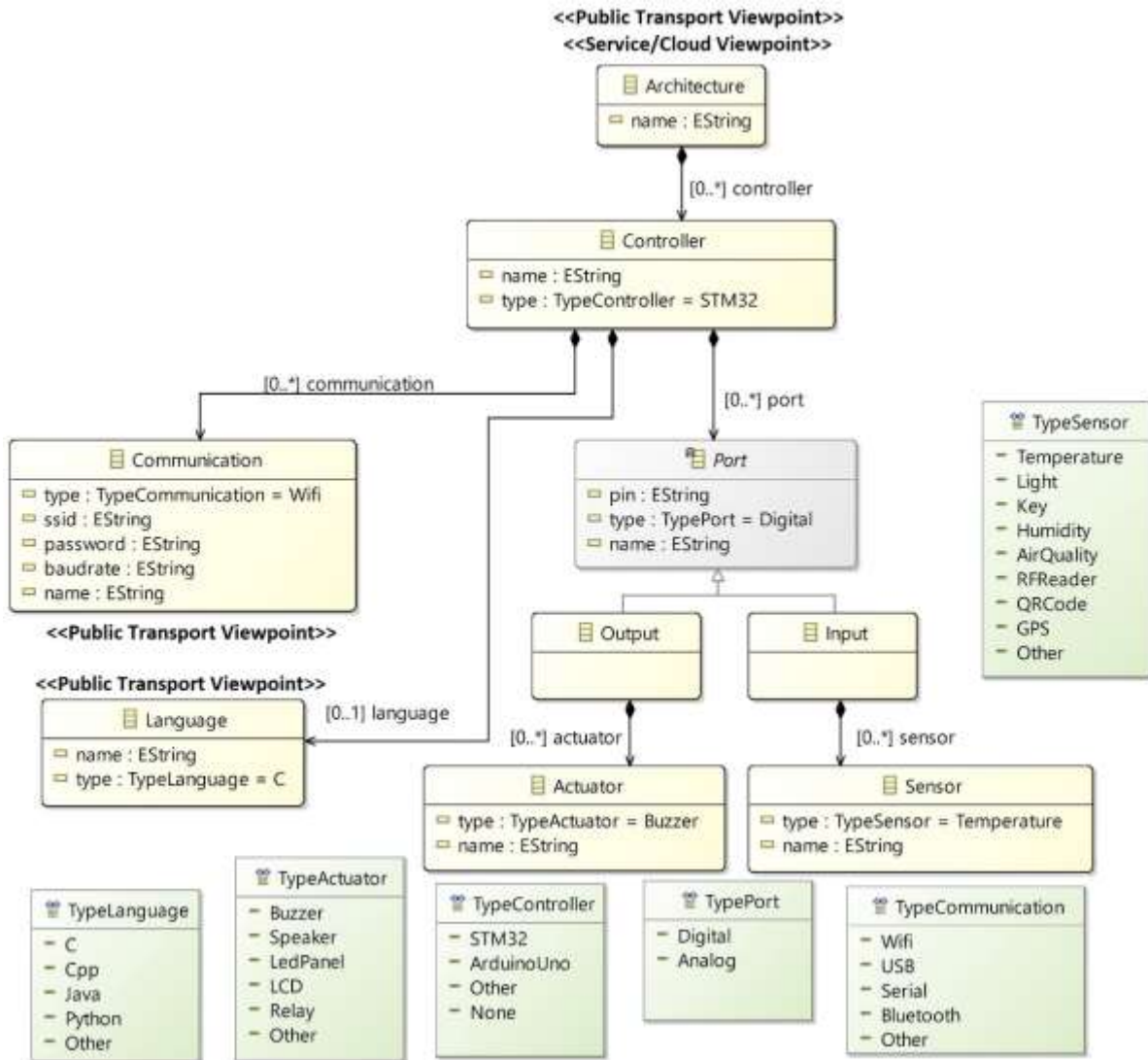


Figure 1. IoT Core viewpoint.

### 3.3. Service Cloud Viewpoint

In this viewpoint, elements and relationships are defined for service and cloud systems in public transportation IoT systems. The metamodels in general IoT systems do not contain structures for service and cloud mass transit. They are specialized for using the services of simple microcontrollers. In this perspective, there are smart phone and computer application elements that provide the monitoring of public transportation IoT devices. When the metamodels in the literature are examined, there are no studies that customize the service and cloud as in this study. In general, the service and cloud elements are included in the metamodels as a whole element (Sosa-Reyna et al., 2018; Alulema et al., 2017) or in SOA studies, the metamodels only represent service and cloud architectures (Costa et al., 2020; Cai et al., 2018; Betancourt et al., 2020). Hence, our metamodel contributes to these ongoing service and cloud metamodeling efforts by considering the service and cloud space from the perspectives of IoT systems separately.

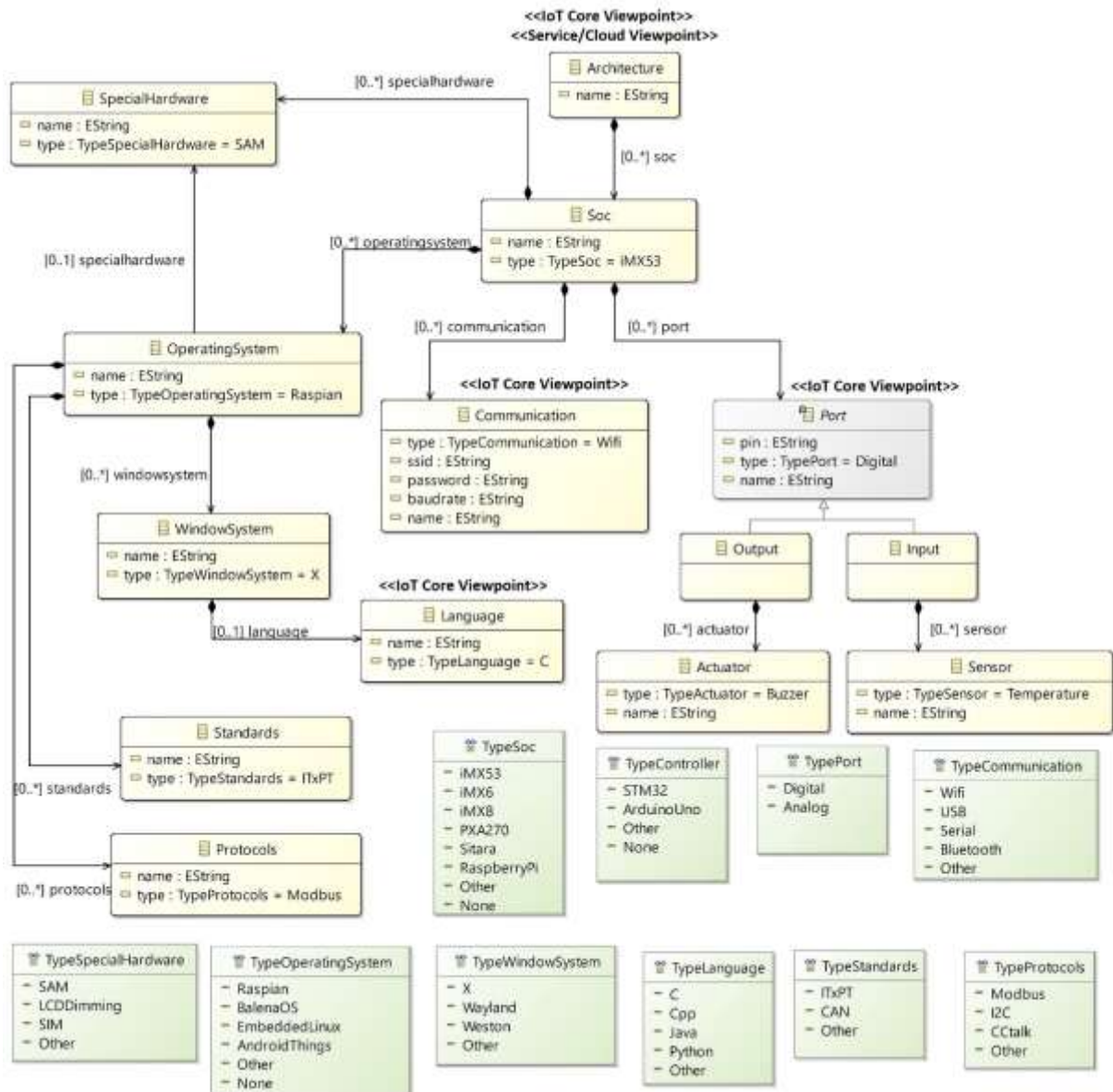


Figure 2. Public Transport viewpoint.

As with other viewpoints, the Service/Cloud view starts with the *Architecture* element (see Figure 3). Service and cloud configurations are made with the *ServiceApp* and *Cloud* elements derived from the *Service* abstract element. With the *TypeService* variable, the service type can be set in types such as REST and SOAP. With the *TypeCloud* variable, cloud type can be selected such as Azure or Firebase. The item for which the smartphone application is determined is the *SmartPhone* item. With the *TypeSmartPhone* variable, the type of the application is preferred as Android or iOS. The monitoring application in the computer program is set using the *MonitorApp* item. The language of the computer application is determined by the *TypeMonitorApp* variable.

#### 4. Concrete Syntax for Public Transportation Modeling

Concrete syntax provides a mapping between concepts in abstract syntax and their representation on instance models. When the most basic function is considered, concrete syntax can be defined as a set of signs that facilitate the presentation and construction of the language. This section describes the graphical concrete syntax of DSML4PT that maps abstract syntax elements to their graphical representations.

In this study, the Sirius tool (The Sirius Project, 2023) based on Eclipse EMF and GMF technologies was preferred in the derivation of the concrete syntax. Sirius is an Eclipse project that allows to easily

create a graphical modeling environment using Eclipse modeling technologies. The Sirius tool was developed by Obeo and Thales to create a generic framework for MDE that can be easily adapted to specific needs. Complex architectures can be developed more easily in certain areas. A modeling environment built with Sirius consists of Eclipse editors that allow users to create, edit, and view EMF models. Editors are defined by a model that describes the entire structure of the modeling environment, its behavior, and all printing and navigation tools. This description of a Sirius modeling environment is dynamically interpreted within the Eclipse IDE. To support the specific requirement for customization, this tool can be extended in many ways.

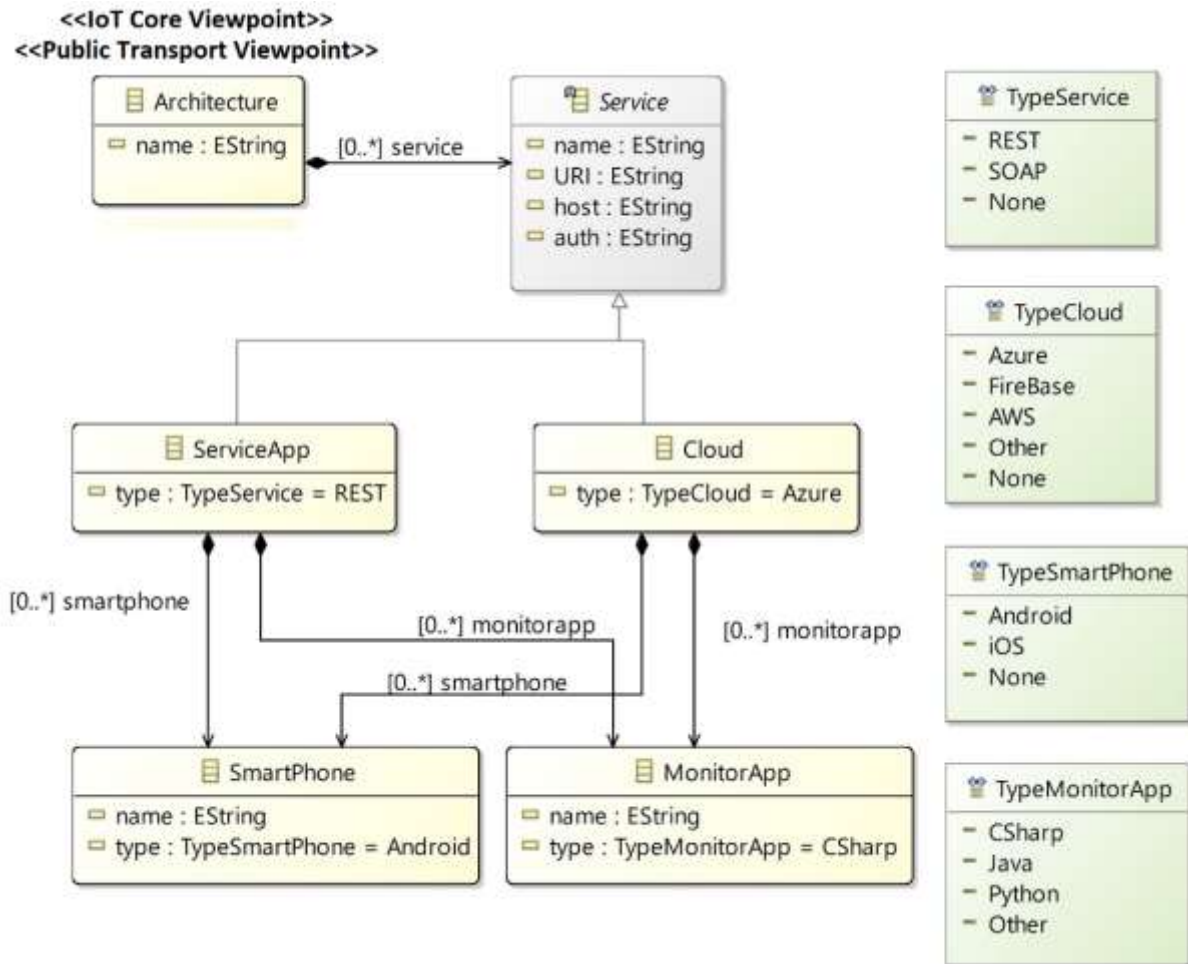











Figure 3. Service/Cloud viewpoint.

In order to develop concrete syntax, firstly, graphical representations for abstract syntax meta elements were prepared in this study. The Sirius tool is used to connect the nodes to the field concepts in the Ecore file. Tables 1, 2, and 3 provide graphical representations of all identified viewpoints of the DSML4PT. The left columns in the tables contain the names of the meta elements in the abstract syntax, while the right columns show the symbols in the DSML4DT syntax.















Ecore models are created in Sirius, so elements and their relationships can be easily seen in visual diagrams. Ecore models are used in the development process. During this process, symbols are set for both palettes and shapes. Icon geometry is explained and some constraint checks are considered. The designed system is a graphical editor where public transportation IoT developers can design models for each of the required viewpoints that match the DSML4PT concrete syntax.

DSML4PT language’s syntax implements some restrictions/checks during the user modeling process. Some of these controls come from the metamodel and some from the UI tool. These controls are discussed in the following two subsections, "Model Constraints" and "Graphical Tools", respectively. Rules for validating the public transportation models are discussed in the third sub-section.







**Table 1.** Concrete syntax concepts and icons for the IoT Core viewpoint

Concept	Icon	Concept	Icon
Architecture		Output	
Controller		Input	
Communication		Language	
Port		Actuator	
Sensor			

**Table 2.** Concrete syntax concepts and icons for the Public Transport viewpoint

Concept	Icon	Concept	Icon
Architecture		Standards	
Soc		Protocols	
Communication		Port	
SpecialHardware		Sensor	
OperatingSystem		Output	
WindowSystem		Input	
Language		Actuator	

**Table 3.** Concrete syntax concepts and icons for the Service/Cloud viewpoint

Concept	Icon	Concept	Icon
Architecture		Cloud	
Service		SmartPhone	
ServiceApp		MonitorApp	

### 4.1. Model Constraints

Constraints for DSML4PT Ecore models are provided for instance models from all viewpoints. These restrictions can be classified as follows:

Splitting constraints: The compositional relationship between meta-elements in Ecore is a relationship from which another element is produced. For example, *Communication* and *OperatingSystem* elements can be generated from the *SoC* element in the IoT Core perspective. However, this does not happen for items where this relationship cannot be found.

Restrictions on the relationship count: The number of relationships between elements in the instance model is controlled based on the one-to-one, one-to-many, many-to-many relationships in Ecore. For example, only one *OperatingSystem* element can be derived from the *SoC* element. However, since the number of inputs and outputs can be higher, a large number of *Port* elements can be derived.

Relationship source and target constraint: The direction of the relationship defines the source and target of the relationship. This restriction is defined at the Ecore level. For example, if the relationship between *SoC* and *Communication* is reversed, this structure cannot be created in the model.

## 4.2. Graphical Tools

In addition to the metamodel constraints, DSML4PT includes some editorial constraints that assist the user in the design while creating the system models. These restrictions are listed below:

Switching between viewpoints: This restriction establishes the unity of the system by switching between editors of different viewpoints. This structure provides a step-by-step creation of the system. The tool is quite flexible when creating diagram files. In the case of a user request, it is possible to create each of the viewpoint diagrams separately. For example, the user can design a Public Transport diagram without designing the IoT Core diagram.

Combination: This feature provides system unification for all elements. Editor diagrams are based on the metamodel's viewpoints. On the other hand, the system model should be considered as a whole combining all instances of the viewpoints. Therefore, any identified element is saved in a list for unique use during the entire modeling process. This is achieved by having a tree structure showing all the elements that can be included in any point of the view diagram. An example is a *Communication* element created in the IoT Core viewpoint editor. Since this *Communication* element should be used in the other viewpoints, e.g. Public Transport viewpoint, it is automatically added into these viewpoint models too. Elements can be used in diagrams by dragging and dropping from palettes as needed.

Relationship-element integrity: According to this constraint, removing an element created in any sample model will remove all relationships from the model. This ensures that the integrity of the entire model is maintained and that the model is consistent after these changes. The main constraints are the number of relationships, the source and target relationships, and the integrity of the relationship-element constraints.

## 4.3. Validation Rules

In addition to the restrictions and features described above, it is also possible to define validation rules for DSML4PT language's semantics. For example, if some elements must be present in a DSML4PT instance model, validations can be added for them. Tables 4, 5 and 6 list a total of 61 validation rules defined for this purpose. In the tables, the Element title shows which element the rule is associated with. The Type header indicates an "Error" that must be fixed or a "Warning" that needs attention. Error messages are displayed in the integrated development environment of the DSML4PT language according to these rules when the "Validate Diagram" operation is performed on DSML4PT models prepared according to the viewpoints.

## 5. Model-to-Text Transformation for Code Generation

Model-to-Text (M2T) transformation rules were applied automatically onto the DSML4PT instance models to generate executable code for the public transportation software. These rules, in other words, allow the creation of the translational semantics of our language. To support the interpretation of DSML4PT models, M2T transformation rules were written by using (Acceleo, 2018) in this study. Acceleo is a pragmatic implementation of the OMG MOF M2T Language (MTL) standard. It also provides an Eclipse plugin where Acceleo transformations can be written, parsed, checked and executed directly inside the Eclipse environment. Some examples of Acceleo M2T transformation rules written for DSML4PT are discussed in Section 6.

It is worth indicating that the abovementioned M2T rules are applied at runtime on the public transportation system models conforming to the DSML4PT syntax and hence the code and/or files required for the system implementation are generated automatically. A user does not need to know the whole generation process including the details and the execution mechanism of the transformation rules.

The whole code generation process is abstract and there is no need to any human intervention. All code generation for languages such as C and Java that will be needed is in the Eclipse tool. The syntax rules of the batch overflow construct are also applied throughout the entire code generation phase.

**Table 4.** Validation rules for DSML4PT IoT Core viewpoint

Rule	Element	Type	Notification
IoTCore_1	Architecture	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_2	Controller	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_3	Controller	Error	Element type should be selected!
IoTCore_4	Controller	Error	At least one Communication element should be created!
IoTCore_5	Controller	Error	At least one Language element should be created!
IoTCore_6	Communication	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_7	Communication	Error	Element type should be selected!
IoTCore_8	Communication	Warning	Ssid value should be entered.
IoTCore_9	Communication	Warning	Password should be entered.
IoTCore_10	Communication	Warning	Baudrate should be entered.
IoTCore_11	Port	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_12	Port	Error	Element type should be selected!
IoTCore_13	Language	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_14	Language	Error	Element type should be selected!
IoTCore_15	Actuator	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_16	Actuator	Error	Element type should be selected!
IoTCore_17	Sensor	Error	Element name should not be empty!
IoTCore_18	Sensor	Error	Element type should be selected!

## 6. Case Study

In this section, we discuss the use of DSML4PT language and its IDE by taking into account the design and implementation of a fare collection system where validator devices are used in the public transportation vehicles. An iMX53 (NXP Semiconductor, 2017) series ARM core microprocessor is used in this validator device. It was a validator device with 1GB memory and 512MB hard disk space. There was a PN5180 (NXP Semiconductor, 2020) card reader circuit working with the Serial Peripheral Interface (SPI) in the device. This circuit was modeled as a sensor input and receives card reading information. In addition, there was a MAX9768 (Maxim Integrated, 2016) audio output circuit with Inter-Integrated Circuit (I2C) working as an actuator in the device and a 7" Liquid Crystal Display (LCD) output working with Low Voltage Differential Signal (LVDS) interface. The HE910 module was used as the GSM module.

### 6.1. System Modeling for the Device

Models for the validator device were created using the DSML4PT's syntax for each modeling viewpoint. In DSML4PT's IDE, any required modeling elements can be dragged-and-dropped from a palette including all visual notations of the entities for each DSML4PT viewpoint (see the right side of Figure 4). Hence any instance of modeling elements can be created and moved on the public transportation model currently designed by the user. For instance, the model instance created for the IoT Core view of the validator system is given in Figure 4. Embedded Linux Kernel V4 operating system was used. In addition, 2 port SAM hardware specific to public transportation, (ITxPT, 2017) standard and CCTalk protocol were used. The model created for the Public Transport viewpoint which includes all these structures specialized for the public transportation, can be seen in Figure 5. This validator system receives data via a REST service. The validator service coded with Java can communicate with Android and iOS smartphones. In addition, an administrator application coded in Java language provides system monitoring and management using the validator service. Hence, the Service/Cloud model according to these specifications was designed as can be seen in Figure 6.



**Table 5.** Validation rules for DSML4PT Public Transport viewpoint

<b>Rule</b>	<b>Element</b>	<b>Type</b>	<b>Notification</b>
PubTrans_1	Architecture	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_2	Soc	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_3	Soc	Error	Element type should be selected!
PubTrans_4	Soc	Error	At least one Language element should be created!
PubTrans_5	Soc	Error	An OperatingSystem element should be created!
PubTrans_6	Communication	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_7	Communication	Error	Element type should be selected!
PubTrans_8	Communication	Warning	Ssid value should be entered.
PubTrans_9	Communication	Warning	Password should be entered.
PubTrans_10	Communication	Warning	Baudrate should be entered.
PubTrans_11	OperatingSystem	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_12	OperatingSystem	Error	Element type should be selected!
PubTrans_13	OperatingSystem	Error	A WindowSystem element should be created!
PubTrans_14	SpecialHardware	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_15	SpecialHardware	Error	Element type should be selected!
PubTrans_16	WindowSystem	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_17	WindowSystem	Error	Element type should be selected!
PubTrans_18	WindowSystem	Error	A Language element should be created!
PubTrans_19	Language	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_20	Language	Error	Element type should be selected!
PubTrans_21	Standards	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_22	Standards	Error	Element type should be selected!
PubTrans_23	Protocols	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_24	Protocols	Error	Element type should be selected!
PubTrans_25	Actuator	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_26	Actuator	Error	Element type should be selected!
PubTrans_27	Sensor	Error	Element name should not be empty!
PubTrans_28	Sensor	Error	Element type should be selected!

**Table 6.** Validation rules for DSML4PT Service/Cloud viewpoint

<b>Rule</b>	<b>Element</b>	<b>Type</b>	<b>Notification</b>
Ser/Cloud_1	Architecture	Error	Element name should not be empty!
Ser/Cloud_2	ServiceApp	Error	Element name should not be empty!
Ser/Cloud_3	ServiceApp	Error	Element type should be selected!
Ser/Cloud_4	ServiceApp	Warning	URI should be entered.
Ser/Cloud_5	ServiceApp	Warning	Host should be entered.
Ser/Cloud_6	ServiceApp	Warning	Authentication should be entered.
Ser/Cloud_7	Cloud	Error	Element name should not be empty!
Ser/Cloud_8	Cloud	Error	Element type should be selected!
Ser/Cloud_9	Cloud	Warning	URI should be entered.
Ser/Cloud_10	Cloud	Warning	Host should be entered.
Ser/Cloud_11	Cloud	Warning	Authentication should be entered.
Ser/Cloud_12	SmartPhone	Error	Element name should not be empty!
Ser/Cloud_13	SmartPhone	Error	Element type should be selected!
Ser/Cloud_14	MonitorApp	Error	Element name should not be empty!
Ser/Cloud_15	MonitorApp	Error	Element type should be selected!

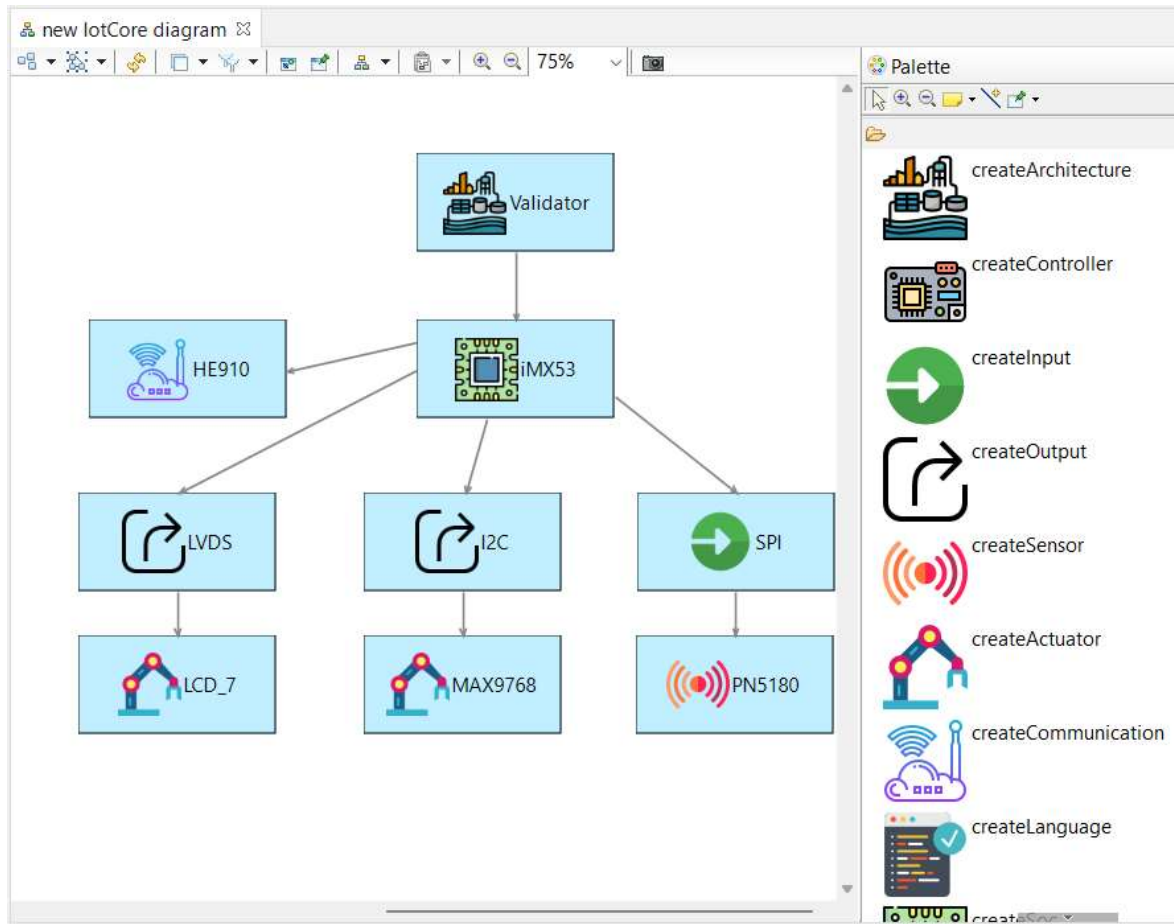


Figure 4. IoT Core viewpoint of the Validator IoT system.

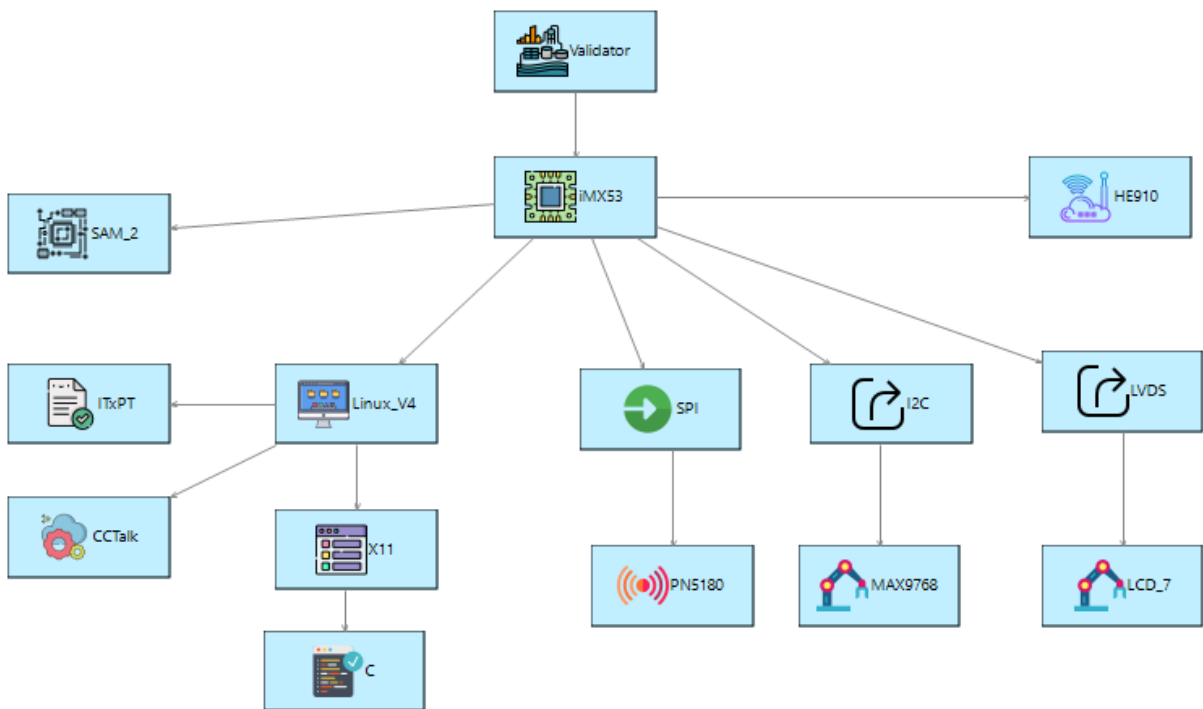
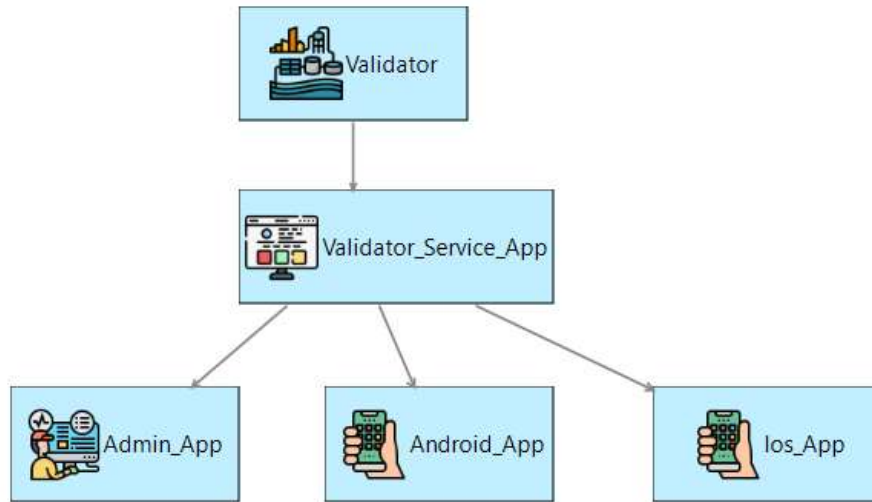


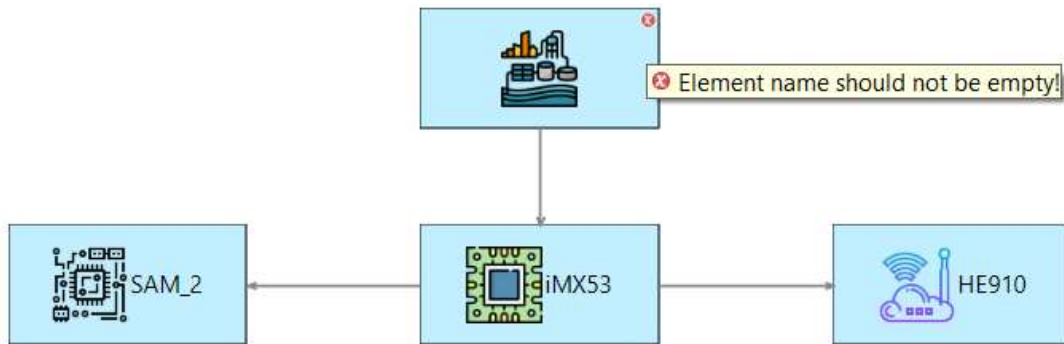
Figure 5. Public Transport viewpoint of the Validator IoT system.



**Figure 6.** Service/Cloud viewpoint of the Validator IoT system.

**6.2. Validation of the Modelled System**

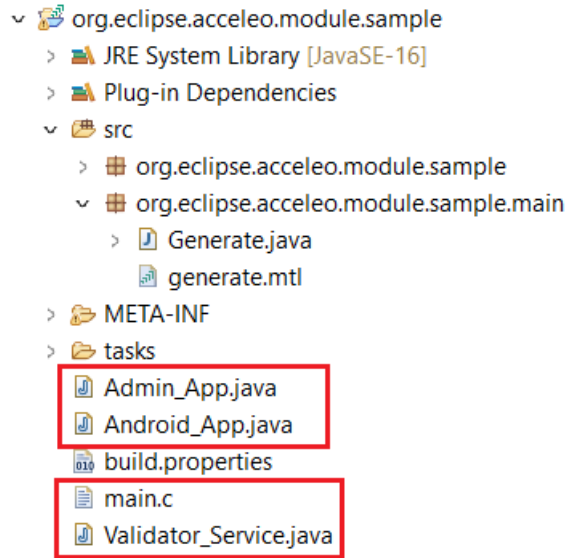
While creating public transportation models, the previously described constraints of DSML4PT’s language are checked and the validation of the designed models is automatically performed. As mentioned before, there is a "Validate Diagram" selection inside the DSML4PT’s IDE for this purpose. When it is selected, the software developer (user of the language) is notified with error messages, if there are situations contrary to the metamodel definitions and static semantic rules discussed in the previous section of this paper. For example, in Figure 7, an error can be seen during the modeling of the Validator device inside the Public Transport viewpoint. According to the PubTrans\_1 rule of the public transportation metamodel, the Architecture node in the Public Transport diagram must have a name. The tool has identified a deficiency in this model element and this is reported to the software developer. Model design can only be completed after all these errors have been corrected.



**Figure 7.** An example of a DT model validation.

**6.3. Code Generation**

A total of 4 code files were generated from the DSML4PT models designed for the entire Validator IoT system within the scope of our case study. These generated code files are: (1) GTK application suitable for Linux X11 window system written in C language to run on the Validator device; (2) REST service application written in Java language; (3) System administrator desktop application code written in Java language; (4) Client application code written in Java for Android smartphones. Figure 8 shows the names of the generated code files in the DSML4PT IDE’s project view.



**Figure 8.** Generated code files shown in the tool project view.

As explained in the previous sections, the creation of the public transportation system starts with the *Architecture* element. This element should be present in the public transportation system and its properties should be specified. Hence, the generation of artifacts from the designed DSML4PT models starts from Architecture element instances. Listing 1 shows an excerpt from the Acceleo rules written for M2T transformations to generate code in our study. If the condition in Line 01 is met during parsing a DSML4PT model instance, the part between the [if] lines will be generated as the corresponding code. Listing 1 is the Acceleo code example to produce the Wireless LAN node discovery function. Listing shows that the code block inside the if structure will be generated in case there is a Wifi assignment. After the condition is met, the value of the ssid variable coming from the model is assigned in the code as in the 4th line. Listing 2 shows an excerpt from the auto-generated C code when the M2T rule given in Listing 1 was automatically applied to our Validator instance model.

```

01    [if (anArchitecture.soc.communication.type.Wifi->notEmpty())]
02    int wlan_detect() {
03        int i, ret;
04        char ssid[20] = [anArchitecture.soc.communication.ssid/];
05        for(i = 0; i < 100; i++) {
06            ret = WLGetESSID("wlan0", ssid);
07            if(ret == 0) {
08                printf("Network found!\n");
09            } else {
10                printf("Network NOT found!\n");
11            }
12            printf("ssid:%s\n", ssid);
13            sleep(1);
14        }
15        return 0;
16    }
17    [/if]

```

**Listing 1:** An excerpt from Acceleo code generating Wlan C code.

Listing 1 shows the Acceleo M2T example written for the automatic generation of Wireless LAN code corresponding to SoC and Communication elements in the Public Transport viewpoint of a DSML4PT instance. Similarly, code generation for all elements of the designed public transportation system model was successfully realized.

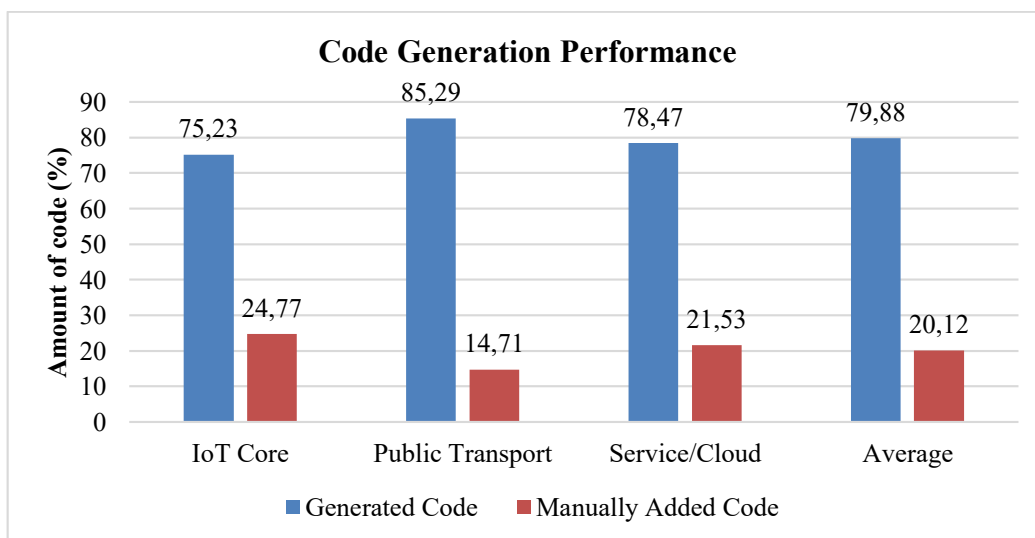
```

01  int wlan_detect() {
02      int i, ret;
03      char essid[20] = 654321;
04      for(i = 0; i < 100; i++) {
05          ret = WLGetESSID("wlan0", essid);
06          if(ret == 0) {
07              printf("Network found!\n");
08          } else {
09              printf("Network NOT found!\n");
10          }
11          printf("essid:%d\n", essid);
12          sleep(1);
13      }
14      return 0;
15  }

```

**Listing 2:** Excerpt from generated Wlan C code.

To provide the full implementation of the IoT Validator system, code generated by modeling should be completed by the users. Figure 9 lists the rate of manually added lines of code (LoC) in comparison with the auto-generated LoC for all viewpoints of the public transportation system. As can be seen from Figure 9, approximately 80% of the whole application was created by just modeling with DSML4PT. In other words, MDE with using DSML4PT enabled the auto-generation of a significant quantity of the software for the required system. We examined that the 20% of the application that could not be auto-generated from DSML4PT model instances consists of hardware specific configurations and a few IoT library definitions, which are too dependent onto the underlying hardware and naturally modeling such platforms-specific components could not be included with the platform-independent metamodel of DSML4PT to preserve the higher abstraction and extensive support for different execution platforms. A final note on the generation performance of DSML4PT can be added for the comparison of auto-generated LoC for each viewpoint. As can be seen again in Figure 9, the best code generation performance was obtained for the Public Transport viewpoint (85%). We believe that this slight increase in code generation encountered in this viewpoint is somehow related to DSML4PT's all-embracing model for the public transportation domain as well as the majority of the modeling public transportation model elements in the case study, i.e. the number of the IoT components, modules and their relations for the validator hardware is relatively more than the remaining IoT core and service elements in the system-to-be-implemented.



**Figure 9.** DSML4PT's code generation performance.

When the full implementation of the application was completed with manual code editions, it was tested and executed onto the validator hardware described at the beginning of this section for fare collections in public transportation. As intended, a charge was collected from the existing amount by reading the RF card on the device. A screenshot of this IoT application is given in Figure 10. As it can be seen from the screenshot, the fee of 10 Turkish Liras (TL) has been collected for the current metrobus trip from a passenger card having 120 TL and a balance of 110 TL has been obtained after the related transaction.



**Figure 10.** IoT validator application screen.

## 7. Conclusion and Future Work

Modeling IoT-based public transportation systems has been investigated and a DSML, called DSML4PT, has been introduced to support MDE of these systems. A metamodel including all entities and relations of IoT-based public transportation systems has been provided. Originating from this metamodel, we defined the syntax of DSML4PT language, so that instance models for the public transformation system software can be designed graphically from different system viewpoints. The semantics based on the model-to-text transformations led to the automatic generation of the code required for the implementation of the modeled systems. Based on the conducted study, we observed that almost 80% of an IoT-based public transportation application can be generated only with using DSML4PT.

In our future work, we aim at evaluating the use of DSML4PT during MDE of additional public transportation applications which will help the improvement and/or extension of the language features to leverage the support of IoT platforms, tools and hardware for the transportation systems. Another future work will be the construction of some sort of synchronization mechanisms between the DSML4PT models and the system implementations, i.e. any change made in the generated code can be automatically applied to the corresponding DSML4PT instance models and vice versa.

### Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

### Acknowledgment and/or disclaimers, if any

The study did not receive any support. There is no institution or person to thank.

### Conflict of Interest Statement, if any

There is no conflict of interest with any institution or person within the scope of the study.

### References

**Acceleo** (2018). Acceleo Model to Text Language. <https://www.eclipse.org/acceleo/>, (Access: 21 September 2023).

**Ahmed, A., Kleiner, M. and Roucoules, L.** (2019). Model-Based Interoperability IoT Hub for the Supervision of Smart Gas Distribution Networks. *IEEE Systems Journal*, 13 - 2.

**Alulema, D., Iribarne, L. and Criado, J.** (2017). A DSL for the Development of Heterogeneous Applications. *5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops*, Prague, Czech Republic, 21-23 August.

**Arslan, S. and Kardaş, G.** (2021). The Need for Model-driven Engineering in the Development of IoT Software for Public Transportation Systems. *15th Turkish National Software Engineering Symposium (UYMS)*, Izmir, Turkey, 17-19 November.

**Arslan, S., Ozkaya, M. and Kardas, G.** (2023). Modeling Languages for Internet of Things (IoT) Applications: A Comparative Analysis Study. *Mathematics*, 11, 1263.

**Asici, T. Z., Karaduman, B., Eslampanah, R., Challenger, M., Denil, J. and Vangheluwe, H.** (2019). Applying Model Driven Engineering Techniques to the Development of Contiki-Based IoT Systems. *IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Research & Practices for the Internet of Things*, Montreal, QC, Canada, 27-27 May.

**Aydin, M.B., Oz, C., Cetin Tulazoglu, D. and Kardas, G.** (2019). Development of an ITxPT compliant information system for public transportation vehicles. *Journal of Intelligent Transportation Systems and Applications*, 2:2, 1-13.

**Barriga, J.A., Clemente, P.J., Pérez-Toledano, M.A., Jurado-Málaga, E. and Hernández, J.** (2023). Design, code generation and simulation of IoT environments with mobility devices by using model-driven development: SimulateIoT-Mobile. *Pervasive and Mobile Computing*, 89, 101751.

**Berrouyne, I., Adda, M., Mottu, J.M. and Tisi, M.** (2022). A Model-Driven Methodology to Accelerate Software Engineering in the Internet of Things. *IEEE Internet Things Journal*, 9, 19757–19772.

**Betancourt, V.P., Liu, B. and Becker, J.** (2020). Model-based Development of a Dynamic Container-Based Edge Computing System. *IEEE International Symposium on Systems Engineering*, Vienna, Austria, 12 October - 12 November.

**Brambilla, M., Cabot, J. and Wimmer, M.** (2017). *Model-Driven Software Engineering in Practice*, 2nd ed.; Switzerland: Springer.

**Cai, H., Gu, Y., Vasilakos, A.V., Xu, B. and Zhou, J.** (2018). Model-Driven Development Patterns for Mobile Services in Cloud of Things. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 6:3, 771-784.

**Costa, B., Pires, P.F. and Delicato, F.C.** (2020). Towards the adoption of OMG standards in the development of SOA-based IoT systems. *The Journal of Systems & Software*, 169.

**Dautov, R. and Song, H.** (2019). Towards IoT Diversity via Automated Fleet Management. *4th International Workshop on Model-Driven Engineering for the Internet-of-Things*, Munich, Germany, 15-17 September.

**Evin, E., Aydin, M.B. and Kardas, G.** (2020). Design and implementation of a CANBus-based eco-driving system for public transport bus services. *IEEE Access* 2020, 8:1, 8114-8128.

**ENACT Project**, (2018). <https://www.enact-project.eu/> (Access: 21 September 2023).

**Farias, C.M., Brito, I.C., Pirmez, L., Delicato, F.C., Pires, P.F., Rodrigues, T.C., Santos, I.L., Carmo, L.F.R.C. and Batista, T.** (2017). COMFIT: A development environment for the Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 75, 128–144.

- Fernandez, G.C., Espada, J.P., García-Díaz, V., García, C.G. and Fernandez, N.G.** (2014). Vitruvius An expert system for vehicle sensor tracking and managing. *Journal of Network and Computer Applications*, 42, 178-188.
- Harrand, N., Fleurey, F., Morin, B. and Husa, K.E.** (2016). Thingml: a language and code generation framework for heterogeneous targets. *The ACM/IEEE 19th International Conference on Model Driven Engineering, Languages and Systems*, Saint-malo, France, 2-7 October.
- Hassine, T.B., Khayati O. and Ghezala, H.B.** (2017). An IoT domain meta-model and an approach to software development of IoT solutions. *International Conference on Internet of Things, Embedded Systems and Communications (IINTEC)*, Gafsa, Tunisia, 20-22 October.
- Hause, M., Hummell, J. and Grelier, F.** (2018). MBSE Driven IoT for Smarter Cities. *13th Annual Conference on System of Systems Eng.*, Paris, France, 19-22 June.
- Hu, M., Cao, E., Huang, H., Zhang, M., Chen, X. and Chen, M.** (2023). AIoTML: A Unified Modeling Language for AIoT-Based Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, DOI: 10.1109/TCAD.2023.3264786.
- Iovino, L., Sanctis, M.D. and Rossi, M.T.** (2019). Automated Code Generation for NFC-based Access Control. *4th International Workshop on Model-Driven Engineering for the Internet-of-Things*, Munich, Germany, 15-17 September.
- ISO 24014-1:2015** (2015). Public transport - Interoperable fare management system - Part 1: Architecture. <https://www.iso.org/standard/61545.html> (Access: 21 September 2023).
- ITS Standardization** (2021). Public transport Standards. <https://www.itsstandards.eu/25-2/wp-2/> (Access: 21 September 2023).
- ITxPT** (2017). ITXPT Standards. Information Technology for Public Transport Organization. <https://itxpt.org/> (Access: 21 September 2023).
- Kardas, G., Ciccozzi, F. and Iovino, L.** (2023). Introduction to the special issue on methods, tools and languages for model-driven engineering and low-code development. *Journal of Computer Languages*, 74, 1–2.
- Kosar, T., Bohra, S. and Mernik, M.** (2019). Domain-specific languages: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 71:1, 77–91.
- Kotronis, C., Nikolaidou, M., Dimitrakopoulos, G., Anagnostopoulos, D., Amira, A. and Bensaali, F.** (2018). A Model-based Approach for Managing Criticality Requirements in e-Health IoT Systems. *13th Annual Conference on System of Systems Engineering*, Paris, France, 19-22 June.
- Kölsch, J., Post, S., Zivkovic, C., Ratzke, A. and Grimm, C.** (2020). Model-based development of smart home scenarios for IoT simulation. *8th Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems*, Sydney, NSW, Australia, 21 April.
- Kühne, T.** (2022). Multi-dimensional multi-level modeling. *Software and Systems Modeling*, 21, 543-559.
- Lelandais, B., Oudot, M.P. and Combemale, B.** (2019). Applying model-driven engineering to high-performance computing: Experience report, lessons learned, and remaining challenges. *Journal of Computer Languages*, 55:1, 100919.
- Marah, H. M., Kardas, G. and Challenger, M.** (2021). Model-driven round-trip engineering for TinyOS-based WSN applications. *Journal of Computer Languages*, 65.



**Maxim Integrated** (2016). MAX9768 10W Mono Class D Speaker Amplifier with Volume Control. <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/audio/MAX9768.html> (Access: 21 September 2023).

**Mazzini, S., Favaro, J. and Baracchi, L.** (2015). A Model-Based Approach Across the IoT Lifecycle for Scalable and Distributed Smart Applications. *IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Gran Canaria, Spain, 15-18 September.

**Mohamed, M.A., Kardas, G. and Challenger, M.** (2021). Model-driven engineering tools and languages for cyber-physical systems - A systematic literature review. *IEEE Access*, 9:1, 48605-48630.

**Muthukumar N., Srinivasan, S., Ramkumar, K., Pal, D., Vain, J. and Ramaswamy, S.** (2019). A model-based approach for design and verification of Industrial Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 95, 354–363.

**NXP Semiconductor** (2017). i.MX 6Dual/6Quad Applications Processor Reference Manual, IMX6DQRM Rev. 4, 09/2017.

**NXP Semiconductor** (2020). PN5180 Full NFC Forum-Compliant Frontend IC. <https://www.nxp.com/products/rfid-nfc/nfc-hf/nfc-readers/full-nfc-forum-compliant-frontend-ic:PN5180> (Access: 21 September 2023).

**Rafique, W., Zhao, X., Yu, S., Yaqoob, I., Imran, M. and Dou, W.** (2020). An Application Development Framework for Internet-of-Things Service Orchestration. *IEEE Internet of Things Journal*, 7:5, 4543-4556.

**Rayes, A. and Salam, S.** (2019). Internet of Things From Hype to Reality: The Road to Digitization. Cham, Switzerland: Springer.

**Sosa-Reyna, C. M., Tello-Leal, E. and Lara-Alabazares, D.** (2018). Methodology for the model-driven development of service oriented IoT applications. *Journal of Systems Architecture*, 90, 15-22.

**The Eclipse Foundation** (2015). Graphical Modeling Framework (GMF), <http://www.eclipse.org/modeling/gmf/> (Access: 21 September 2023).

**The Sirius Project** (2023). The Eclipse Sirius Modelling Project. <http://www.eclipse.org/sirius/> (Access: 21 September 2023).

**The Vorto Project**, (2018). <https://www.eclipse.org/vorto/> (Access: 21 September 2023).

**Thramboulidis, K. and Christoulakis, F.** (2016). UML4IoT: A UML-based approach to exploit IoT in cyber-physical manufacturing systems. *Computers in Industry*, 82, 259–272.

**Vorapojpisut, S.** (2018). Model-based Design of IoT/WSN Nodes: Device Driver Implementation. *International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology & International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems*, Khon Kaen, Thailand, 07-09 May.

**Wasowski, A. and Berger, T.** (2023). Domain-Specific Languages: Effective Modeling, Automation, and Reuse. 1st ed.; Switzerland: Springer.

**Xiao, R., Wu, Z., and Wang, D.** (2019). A Finite-State-Machine model driven service composition architecture for internet of things rapid prototyping. *Future Generation Computer Systems*, 99, 473–488.

## Araştırma Makalesi

# İstanbul park et devam et sisteminin sürdürülebilir ve entegre ulaşım etkisi

Asena Kübra Tarhan<sup>1,\*</sup>, Özge Yalçiner Ercoşkun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trafik Planlaması ve Uygulaması ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

\*Correspondence: [asenakubratarhan@gmail.com](mailto:asenakubratarhan@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1069890

**Özet:** Günümüzde kentlerde nüfus artışı, teknolojinin gelişmesi, kentsel yayılma ve bunlara bağlı olarak motorlu taşıt kullanımı artmaktadır. Özel araç kullanımının artması ile özellikle büyük kentlerde trafik sıkışıklığı yaşanmaktadır. Bu durum beraberinde hava, gürültü kirliliği ve karbon salınımı gibi çevre sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir, entegre ulaşımın sağlanmasında ve otomobil kullanımının azaltılmasında kentlerde park et devam et sistemleri uygulanmaktadır. Park et devam et (P+D), kent içi seyahatlerde özel araç kullanımını azaltmak için kentte ve merkez çeperlerinde oluşturulan otoparklar ile yolculukların toplu taşıma ile devam etmesini sağlar. Bu çalışmanın amacı, İstanbul kenti park et devam et sisteminin sürdürülebilir ve entegre ulaşım dahilinde incelenmesidir. Araştırma; İstanbul kentinde özel araç kullanımının azaltılması ve yolculukların toplu taşıma yönlendirilmesi kapsamında P+D sisteminin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda sürdürülebilir ve entegre ulaşımın gerekliliğinden bahsedilmiştir. P+D sisteminin kente ve ulaşım olan etkileri incelenmiştir. İnceleme alanı olan İstanbul kentinin park et devam et sisteminin konumları, kapasiteleri ve hangi ulaşım türü ile entegre olduğu araştırılmıştır. Bu bağlamda P+D sistemin erişilebilirliği, sürdürülebilir ulaşım dahilinde kente olan olumlu katkıları değerlendirilmiştir. İstanbul kentinde park et devam et sisteminin etkin olarak kullanıldığında trafik sıkışıklığını azaltmada önemli olduğu görülmüştür. Yapılan değerlendirme sonucunda kentlerde ulaşımın çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması ve toplu taşımanın desteklenmesi amacıyla P+D sisteminin önemli olduğunu söylemek mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir ulaşım, park et devam et, entegre ulaşım, İstanbul

## The impact of the Istanbul park and ride system on sustainable and integrated transportation

**Abstract:** Today, population growth in cities, the development of technology, urban sprawl, and the use of motor vehicles are increasing accordingly. With the increase in the use of private vehicles, traffic jams are experienced especially in big cities. This situation causes environmental problems such as air, noise pollution and carbon emission. Park and ride (P+R) systems are implemented in cities to ensure sustainable, integrated transportation and reduce automobile use. P+R systems are transfer systems that enable journeys to continue with public transportation, with car parks created throughout the city and in the center peripheries in order to reduce the use of private vehicles in urban journeys. This study aims to examine the city of Istanbul's park and go system within the scope of sustainable and integrated transportation. The research demonstrates the effectiveness of the P+R system within the scope of reducing the use of private cars in Istanbul and directing journeys to public transportation. In this context, the necessity of sustainable and integrated transportation was mentioned. The effects of the P+R system on the city and transportation were examined. The locations and capacities of the P+R system of Istanbul city, the study area, and with which mode of transportation was integrated were investigated. In this context, the accessibility of the P+R system and its positive contributions to the city within the scope of sustainable transportation were evaluated. When used effectively in Istanbul, we observed that the P+R system is essential in reducing traffic congestion. As a result of the evaluation, the P+R system is vital to reduce the harmful effects of transportation in the city environment and support public transportation.

**Keywords:** Sustainable transportation, park and ride, integrated transportation, İstanbul

## 1. Giriş

Kentler günümüze kadar çeşitli gelişmelerle birlikte şekillenmiştir. Sanayileşme, teknolojik gelişme ve ekonomik faaliyetler sonucu kentlerde nüfus artmıştır. 1950lerde tarımda makineleşme ile kırdan kente göçlerin artması, 1980lerde kentleşme nüfus artışını hızlandıran etmenlerdir. Demiryolu ve daha sonra metro ile yolculuğun hızlanması ile kentlerde hızlı büyüme süreci yaşanmıştır. 1960lar sonrasında kentsel büyüme, metropoliten alanların önemli bir sorunu haline gelmiştir. Bu gelişmeler sonucunda kentlerde hem nüfus hem de mekânsal olarak büyüme süreci yaşanmıştır. Teknolojinin sürekli gelişimi, hızlı nüfus artışı ve otomobil kullanımının yaygınlaşması ile kent merkezine olan bağlılık azalmıştır. Kentlerde nüfus artış hızı veya aşırı nüfus yığılımları ile artan yapılaşma yaşam alanlarının genişlemesini beraberinde getirmiştir. Kentsel büyüme sürecinde kentten uzaklaşma ve bunun sonucu olarak saçaklanma; tarım alanlarının, kentsel hava koridorlarının, doğal yaşam alanlarının yok olmasına neden olmuştur. Günümüzde kentlerin nüfus artışının sürekli devam etmesi, kentlerin alan ihtiyacını arttırmaya ve ortaya çıkan büyüme süreci sonucunda kentler hızla yayılmaya devam etmektedir. Kentlerde ve özellikle büyükşehirlerde gelir düzeyinin artması özel araç sahipliğinin artmasını beraberinde getirmiştir. Özel aracın sağladığı esneklik, kapıdan kapıya ulaşım aracı olması, istenilen zamanda hareket etme kolaylığı kullanımının artmasında etkindir. Özel taşıt kullanımının artmasının kentsel mekân üzerine etkileri olmuştur. Kentsel saçaklanmayı desteklemiş, taşıt odaklı arazi kullanım kararları alınmış, taşıt odaklı ulaşım planlaması yaklaşımı benimsenmiştir. Kentlerde günümüzde de devam eden çevresel sorunların oluşmasına neden olmuştur. Trafik sıkışıklığı beraberinde gürültü ve hava kirliliğine, emisyon salınımına neden olmuştur. Ulaşım maliyetinin artması ve zaman kaybı da önemli sorunlardır. Özellikle kent merkezlerinde yaşanan bu sorunlardan dolayı kentsel saçaklanma yaşanmıştır. Bu durum bir döngü oluşturmuş ve taşıt sahipliğini artırmıştır. Kentte yaşanan bu olumsuzlukları engellemek için kentsel ulaşım üzerine yapılan tartışmalarda; kentlerde, seyahat davranışını değiştirmenin büyük etkilere sahip olduğu açıktır. Kentlerde özel araç kullanımını sınırlayıcı, toplu taşıma, yaya ve bisiklet ulaşımını destekleyen düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Dünyada özellikle büyük şehirlerde sanayi devrimi ile kentleşme hızlanmıştır. Buna paralel olarak kentler daha önce olmayan pek çok sorunla karşı karşıya kalmışlardır. Bunların içinde önemlilerinden biri de ulaşım sorunudur (Ağaoğlu ve Başdemir, 2019). 1980 sonrasında sürdürülebilirlik kavramı ulaşım planlamasında da önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilir ulaşım; çevreye en az zarar verecek şekilde insanların, malların ve bilginin hareketlilik ihtiyacını destekleme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Yalçiner Ercoskun, 2021). Hava ve gürültü kirliliği, trafikte yaşanan tıkanıklıklar ve kazalar, sonlu kaynakların tüketimi gibi durumlar artık motorlu ve özel araç odaklı taşımacılığın sürdürülemez olduğunu göstermektedir (Uğurlar, 2019). Kentlerde ve ulaşımda sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla ulaşım türlerinde çeşitlilik ve entegrasyonun sağlanması, özel araç kullanımını azaltıcı uygulamalar ve kentsel gelişme desteklenmelidir. Kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması ve özel araç kullanımını azaltıcı birçok uygulama ortaya çıkmıştır. Toplu taşımanın çeşitlendirilmesi ve entegre edildiği sistemlerin kentsel ulaşımda yer alması gerekmektedir. 'Park et devam et (P+D)' otoparkları ile bu sistemler birlikte tasarlanarak kentliye hizmet etmesi sağlanmalıdır. P+D; yolcuların özel araçlarını, toplu taşıma sistemine yakın bir otoparka park etmelerini ve yolculuklarına toplu taşıma ile devam etmelerini sağlayan bir sistemdir (Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimleri Sözlüğü, 2017). P+D, kentsel ulaşımın sürdürülebilirliği kapsamında özel araç yolcularının toplu taşımaya yönlendiren alternatif bir ulaşım sistemidir. Bu sistemlerin temel amacı özel araç yolculuklarını azaltmak ve toplu taşımayı teşvik etmektir. Bu sayede trafik sıkışıklığı azalmakta, fosil yakıt kaynaklı emisyon ve çevre kirliliği azalmaktadır. P+D, sürdürülebilir ve entegre ulaşım kapsamında metro, tramvay, otobüs, bisiklet gibi ulaşım türleri ile entegre edilmektedir. P+D otopark alanlarının kullanılmasını sağlamak amacıyla kent merkezinde otopark kapasitesi sınırlandırılmalı, otopark fiyatları artırılmalı, kent merkezine özel taşıt girişi kısıtlandırılmalıdır. Bu çalışmanın amacı İstanbul kentinde yer alan P+D sisteminin sürdürülebilir ve entegre ulaşımına etkisinin araştırılmasıdır. Takip eden bölümde sürdürülebilir ve entegre ulaşımın gerekliliğinden ve kentsel ulaşım faydalarından bahsedilmiştir. Toplu taşımada entegrasyon için sistemler ve entegre biletlemenin sağlanması ulaşımın etkin biçimde gerçekleşmesi için gereklidir. Kentlerde öncelikli olarak yaya, bisiklet ulaşımını ve toplu taşımayı destekleyen Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOD) ve çok merkezli kentsel gelişmeden bahsedilmiştir. P+D sistemleri ile ilgili bilgi verildikten sonra trafik sıkışıklığının ve yoğunluğunun fazla olduğu İstanbul kentinde yer alan P+D

sistemi sürdürülebilir ve entegre ulaşım bağlamında ortaya konmuştur. Çalışma, sonuç bölümü kapsamında değerlendirme ve öneriler ile tamamlanmıştır.

## 2. Sürdürülebilir ve Entegre Ulaşım

Sürdürülebilirlik en genel tanımıyla; bugünün ihtiyaçlarını, günümüzde var olan kaynakların gelecek kuşakların ihtiyacını tehlikeye atmayacak şekilde karşılanmasıdır. Bir başka tanımla, bireyin ve toplumun sahip olduğu sosyal, çevresel ve ekonomik değerleri koruma ile kullanma dengesinde gelecek kuşaklarında kullanabileceği şekilde tüketim anlamına gelmektedir (Önder, 2018). Tanımlardan da anlaşılacağı üzere sürdürülebilirlikte amaç; bugünün gereksinimlerini karşılama konusunda, gelecekte kaynakların tükenme olasılığı göz önüne alınarak dikkatli kullanımı gerçekleştirmektir. Sürdürülebilir ulaşımında çevresel, sosyal ve ekonomik değerler arasında denge kurularak uzun vadedeki faydalara odaklanılmaktadır. Kentsel ulaşımında sürdürülebilirlik; erişilebilirlik temelli, çevre duyarlı, yenilenebilir kaynak kullanımına odaklanan bir kavram olarak göze çarpmaktadır.

Litman (2016)'a göre sürdürülebilir ulaşım temelinde üç farklı boyutta amaçlar belirlenmiştir. Koruma ve kullanma dengesinin sağlanmasını amaçlayan bu boyutlar ekonomik, sosyal ve çevresel hedeflerdir. Ekonomik hedefler bağlamında insanları ve eşyaların hızlı ve ekonomik olarak taşınması önem kazanmaktadır. Ulaşım hizmetleri etkili bir şekilde işletilmelidir. Sosyal hedefler incelendiğinde; ulaşımdan kaynaklı olumlu ve olumsuz etkilerin dengeli dağılması ve gelirle orantılı olarak ücretlendirmenin sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda temel ulaşım ihtiyacının herkes tarafından karşılanabilir olması gerekmektedir. Toplumda bireyler arasında etkileşimi artırmak ve ulaşım güvenliğinin geliştirilmesi sosyal hedefler arasındadır. Ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Gürültü, hava kirliliğinin ve emisyonların, toprak ve su kirliliğinin azaltılması gerekmektedir. Yenilenemez ve yeterli olmayan kaynaklar etkili bir biçimde kullanılmalıdır. Doğal alanların korunması çevresel hedefler bağlamında önemlidir. Ulaşımında sürdürülebilirliği sağlama konusunda benzin, dizel gibi fosil yakıtların olduğu taşıt kullanımı azaltılmalıdır. Daha çevreci olan doğalgaz, biyogaz, hibrit, güneş enerjisi ve elektrikle çalışan taşıtlar tercih edilmelidir. Taşıtlarda emisyon salınımını azaltmak amacıyla emisyonu filtreleyen egzoz sistemleri kullanılmalıdır. Kentlerde, özel araç sahipliğinin artmasıyla kentsel yayılma gibi mekânsal etkileri de olmaktadır. Ulaşımında sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla motorlu taşıt kullanımının azaltılması ve yolculukların toplu taşıma ile sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda kentte yer alan ulaşım sistemlerinin birbiri ile entegre olması önem kazanmaktadır. Toplu taşımanın; özel araç, bisiklet ve yaya ulaşımı ile bütünleştirildiği sistemler yaygınlaştırılmalıdır. Bu yolla ulaşımın düzenlenmesi ile ekonomik gelişme sağlanmakta, fosil yakıtla bağlı enerji bağımlılığı azalmaktadır. Özel araç kullanımının azalması ile trafik sıkışıklığında hafiflemeye bağlı olarak gürültü, kirlilik, zaman kaybı ortadan kalkmaktadır. Çevresel değerler açısından da ulaşımında sürdürülebilirliğin sağlanması önem kazanmaktadır.

Toplu taşımada entegre sistem, yolcular için yolculukların kesintisiz bir şekilde başka deyişle kapıdan kapıya toplu ulaşımın sağlanması olarak ifade edilmektedir (Lok ve Olszewsk, 2003). Entegre ulaşım; kent içi ulaşımında bulunan tüm ulaşım türü ve işletmeleri arasındaki ücret, bilet ve hatlarda sağlanan uyum ve ortak kullanımdır (Önder, 2018). Ulaşım sisteminde entegrasyon, sistem ve türlerin yolculuklarda erişilebilirlik ve hareketlilik ihtiyacı gereğince bütünleştirilmesidir. Entegre ulaşımında; arazi kullanım ve ulaşım politikaları ile bütünleştirilmesi, ulaşım altyapısı ile kendi içlerinde entegre edilmesini kapsar (Kaplan ve Ulukavak, 2013). Özel araç kullanımı kapıdan kapıya bir ulaşım biçimi olarak kabul edilmektedir. Yolculuklarda toplu taşımanın tercih edilmesi için kesintisiz ulaşım önem kazanmaktadır. Bu bağlamda farklı ulaşım türleri arasında aktarmalar kolay bir şekilde sağlanmalıdır. Entegre toplu taşımanın sağlanması ile erişilebilir ve güvenilir iyileştirmeler ile özel araç kullanımının azaltılması mümkündür. Yapılacak düzenlemeler ile toplu taşıma daha cazip hale getirilmelidir. Toplu taşımada entegrasyon türler arası yolculukların kesintisiz şekilde planlanmasını içerir. Türlerin ve hizmetlerin sefer planları, sefer sıklıkları, tarife, hatlar ve bilet sistemlerinin planlanması ve geliştirmesi gerekmektedir. Ulaşımında entegrasyonun yaygınlaştırılması özellikle artan oranda toplu ulaşım talebinin kesintisiz ve güvenilir hizmetleri gerekli kıldığı büyük metropol alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Yolculukların toplu taşıma ile sağlanması ve entegre ulaşım kapsamında toplu ulaşımın alternatif hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda güvenilirliği, konforuna ilaveten seyahat ve aktarma süreleri azaltılmalı, ücret ödeme sistemleri iyileştirilmelidir. Toplu ulaşımında entegrasyon sağlanmasında;

aktarma yapacak yolcuların tek sefer ödeme yapabilecekleri, toplu taşıma planlarının ve sıklıklarının aktarmaları kolaylaştırdığı bir şekilde koordine edilebilir.

Entegre ulaşım sisteminin, kentlere birçok fayda sağladığı açıktır. Kente katkıları şu şekilde belirtilebilir (Önder, 2018);

- Daha az trafik sıkışıklığı ve gelişmiş trafik akışını sağlar.
- Çeşitli ulaşım türlerini entegre ederek koordinasyonu sağlamaktadır.
- Kent merkezinde erişilebilirliğe katkı sağlar.
- Yolculuk süresini ve yolculuğun maliyetini azaltmaktadır.
- Esnek ve hızlı erişimi mümkün kılar.
- Trafik stresinin azalmasını, konforun artmasını destekler.
- Yaşam kalitesinin iyileşmesini sağlar.
- Sağladığı kolaylıklar ile yolculukların toplu ulaşım ile gerçekleşmesini teşvik eder.

Tüm bu belirtilen faydalara ilaveten özel araç kullanımının çeşitli uygulamalarla azaltılmasıyla kirlilik ve çevresel zararın önlenmesi sağlanır (Şekil 1).



Şekil 1. Sürdürülebilirlik ve Ulaşım İlişkisi (Önder ve Kaplan, 2014)

Şekil 1’de de belirtildiği üzere sürdürülebilirlik, sürdürülebilir kentsel gelişme için ilk basamaktır. Sürdürülebilir kentler için sürdürülebilir ulaşım desteklenmeli ve uygulama aracı olarak sürdürülebilir entegre ulaşım planlanmalıdır. Ulaşımda sürdürülebilirliği sağlamak için farklı ulaşım türlerinin entegrasyonu sağlanmalıdır. Sürdürülebilir hareketlilik tüm ulaşım türlerini oluşturmak, beslemek ve kullanımdan kaynaklanan atıkların absorbe edilmesi gerekmektedir (Yalçiner Ercoskun, 2015). Özel araç kullanımını azaltmak adına caydırıcı politikalar uygulanmalı ve çevre dostu toplu taşıma sürdürülebilir ulaşım için yaygınlaştırılmalıdır.

## 2.1. Entegre Sistemler ve Entegre Biletleme

Ulaşımda entegrasyon, yolcu ve işletmeleri de kapsayacak şekilde yapılmaktadır. Entegre sistemleri beş başlık kapsamında sınıflandırmak mümkündür.

**Fiziksel Entegrasyon:** Ulaşım türlerinin aktarma noktaları ile birbirine entegre olmasını, duraklar ve istasyonların çevresindeki ulaşım türlerinin bağlantısını kapsamaktadır. Fiziksel entegre ile türler arasındaki aktarmada yaşanan zorlukları ortadan kaldırmak önemlidir. Yaya alanları; yolcuların, türler arasındaki erişimini sağlamak amacıyla dikkatle tasarlanmalıdır. Türler arasındaki aktarmaların iyi planlanmasında; yürüme mesafelerinin kısaltılması, merdiven ve yürüme yolları vb. altyapının sağlanması gerekir (Deveci vd., 2015). Fiziksel entegrasyon ile bekleme sürelerini, taşıtlar arası aktarma sürelerini ve riskleri azaltması ile kesintisiz toplu taşıma sağlanmaktadır.

**Bilet Entegrasyonu:** Entegre biletlemeyle tek bir kart tüm ulaşım türlerinde kullanılmaktadır. Bu sayede türler arasındaki aktarmalar daha kolay bir şekilde sağlanır. Entegre biletlemeyle amaç, farklı ulaşım türleri arasında aktarma yapan yolcuların tek biletle yolculuğun sağlanması ve daha çekici bir toplu taşıma sisteminin sağlanmasıdır.

**Hat Ağı Entegrasyonu:** Bu entegre sistem, uzun mesafeli toplu ulaşım ağlarının bölgesel toplu ulaşım ağları arasındaki koordinasyonu sağlar. Hat ağı planı, ulaşım türleri arasındaki bağlantıdır. Otobüs ile metro, tramvay gibi raylı sistemler birbirine entegre edilmektedir. Talebin yönlendirilmesi ve hizmet

kesintilerinin en aza indirilmesi için işletmeler olarak gerekli bilgilendirilmelerin yapılması gerekmektedir.

**Bilgilendirme Entegrasyonu:** Entegre bilgilendirme; hat, sefer planı ve tarife bilgilerini kapsamaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılan veriler ile otobüs güzergahları, durak yerleri, sefer saatleri gibi bilgiler yer alır. Kapsayıcı, anlaşılması kolay bir bilgilendirme ile aktarma noktalarında bulunan durak ve istasyonlarda tek bir ortak formatın kullanılması gerekir. Entegre bilgilendirme ile yolculuklar gerçekleştirilirken basit ve anlaşılır bir iletişim sağlanır (Deveci vd., 2015)

**Yapısal Entegrasyon:** Ulaşımında entegrasyonun sağlanması bağlamında yapısal olarak düzenlemelere gerek duyulur. Ulaşım türleri arasında bir entegrasyon sağlarken işletmelerin ticari kaygılarını ve yolcuların beklentilerinin birbirini dengelemesi gerekir. İşletmeler arası rekabeti ve hizmet kalitesini artırırken yolcu taleplerinin de karşılanması mümkün olmalıdır (Deveci vd., 2015). Ulaşım stratejilerinin koordineli bir şekilde yürütülmesi amacıyla ilgili birimler görevlendirilmelidir. Deveci vd. ne göre ulaşım politikalarının kent planı, çevresel ve sosyal politikalar ile uyumlu olması dört boyutu içermektedir:

- Farklı ulaşım türleri arasında politika ve mevzuatları arasında entegrasyon
- Ulaşım ve kent planı arasındaki entegrasyon
- Altyapı, bilgilendirme, idare ve ücretler arasındaki politika ve mevzuat entegrasyonu
- Eğitim, sağlık gibi alanlardaki politika ve mevzuatlar kapsamın entegrasyonun sağlanmasıdır.

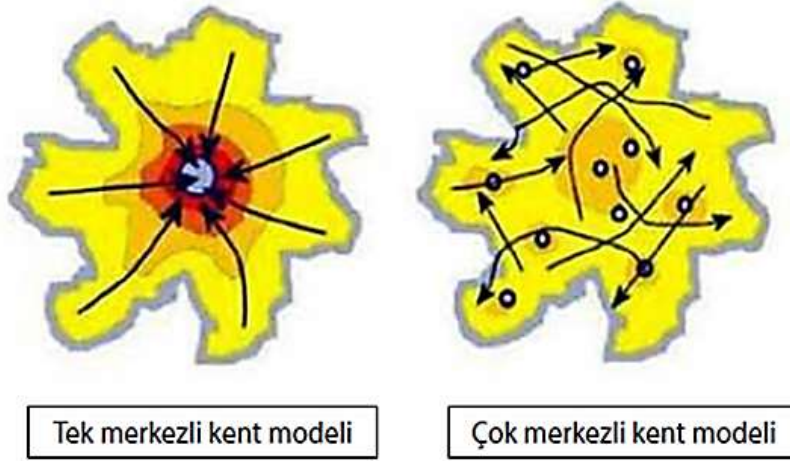
### 1.1. TOD Merkezli ve Çok Merkezli Kentsel Planlama

Kentlerde artan motorlu taşıt kullanımı; hava kirliliği, gürültü kirliliği ve emisyon salınımı gibi çevresel etkileri neden olur. Bu durum sürdürülebilirlik kavramının; ulaşım, kentsel tasarım, arazi kullanım gibi kentin her alanında tartışılması gereken bir durum haline getirmektedir. Bu bağlamda araba odaklı gelişmeden çok yaya, bisiklet ve toplu ulaşımın desteklediği Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOD) ve çok merkezli planlama yaklaşımlarından bahsedilmektedir.

Dünya kentlerinde ulaşım türlerinde çeşitlilik ve entegrasyonda, özel araç kullanımını sınırlayıcı kentsel mekan planlaması göze çarpmaktadır. Kentsel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kentsel alanda önemli bir paya sahip olan ulaşım konusunda düzenlemeler yapılmalıdır. Sürdürülebilir, yaşanabilir ve erişilebilir kentsel mekanlar oluşturmak için yüksek kapasiteli toplu taşıma sistemleri tercih edilmelidir. Kentlerin de bu kapsamda gelişimi sağlanmaktadır. Otomobil odaklı kentsel gelişmenin önüne geçmek için yeni akımlar ortaya çıkmaktadır. Amerika'da 1980li yıllarda ortaya çıkan TOD ile yürüme ve bisiklet gibi motorsuz ulaşım türleri ve diğer tüm ulaşım modları arasındaki entegrasyonun sağlanması amaçlanmıştır (Kütük ve Ercoşkun, 2019). TOD, ulaşım seçeneklerini artırmak, kamu ulaşımını yaygınlaştırmak ve transite yakın yaşam tarzı sağlamak bağlamında arazi kullanım politikaları ve kentsel planlama-tasarım konseptini kapsamaktadır (Aydemir vd., 2018). Bir toplu taşıma durağını ya da istasyonunu merkez alarak yaklaşık 400-800 metre yarıçapında bir daire ile çevrelenen hizmet alanıdır. TOD, toplu taşıma durağı veya istasyon çevresinde karma kullanımın yoğunlaştığı, daha kompakt kentsel gelişmeyi öngörmektedir. Bu sayede kentsel hizmet alanı içerisinde araçsız erişilebilen ve yürünebilir kentsel mekanı planlar. TOD'un temelini, akıllı büyümeyi ve ekonomik gelişmenin sağlanmasında toplu taşıma sistemlerini kullanmak oluşturur (Kütük ve Ercoşkun, 2019).

Kentsel ulaşım açısından TOD gelişmenin birçok faydası vardır. TOD, insanlar için yürünebilir alanlar oluşturmakta ve daha fazla ulaşım alternatifi sağlamaktadır (Yalçın Ercoşkun ve Akunal, 2017). Kentsel arazide farklı kullanımların bulunmasının yanı sıra toplu taşıma duraklarına veya istasyonlarına yürüyerek ulaşmayı da sağlar. Farklı ulaşım türlerinin entegre edilmesiyle toplu taşımayı ve yaya ulaşımını öncelikli kılar. TOD ile park etme ve yol kullanımı düzenlenmesi ile hareketliliği artırmak amaçlanmaktadır. Otopark yönetimi ve P+D sistemi ile toplu taşıma aktarma yapılmasını sağlayarak kent merkezinin kullanım kapasitesini yükseltmektedir. TOD ile otopark alanları kent merkezi sınırında, kent dışında olacak şekilde konumlandırılır. Bu kapsamda özel araçların toplu ulaşım ile entegrasyonu sağlanmakta ve kent merkezinde özel araç kullanımını azaltılmaktadır (Aydemir vd., 2018).

Çok merkezli kentsel planlama ise belirli bir alanda birden fazla kentsel merkez oluşumudur (Sat vd, 2017). Merkezi iş alanlarının genişleyerek işgücü ve hizmetler açısından kendi kendine yeten daha küçük merkezlerle iş birliği içerisinde olması temeline dayanmaktadır. Tek merkezli kentsel gelişmeden çok merkezli kentsel gelişmenin kentlerde yaygınlaşmasında ortalama seyahat mesafesinin artması etken olmuştur. Kentlerde sürdürülebilirliğin sağlanması konusunda çok merkezli kentlerin planlanması gerekmektedir. Çok merkezli kent formunun, tek merkezli dağınık kent formundan daha sürdürülebilir bir kentsel gelişme yarattığı düşüncesi kabul görmektedir (Varol vd., 2017). Çok merkezli kentsel gelişme ulaşım bağlamında bakıldığında ulaşım hiyerarşisinde yayalara öncelik tanır. Daha sonra bisiklet, toplu taşıma, servis ve yük taşıtları ile taksiler ve en son özel araç ulaşım kademelenmesinde yer almaktadır. Bu ulaşım kademelenmesinin sağlanması amacıyla yaya ve bisiklet yolu planlanmalıdır. Toplu taşıma olanakları artırılmalı ve karbon salınımının azaltılması amacıyla çevre dostu ulaşım türleri yaygınlaştırılmalıdır.



Şekil 2. Kentsel Modellerde Merkez İlişkisi (Kaynak: Sat vd., 2017)

## 1.2. Akıllı Otopark Sistemleri

Günümüzde birçok kentte yaşanan otopark problemi beraberinde trafik sıkışıklığına, yol kapasitesinde düşüşe neden olmaktadır. Hava ve gürültü kirliliği, yakıt tüketimi, zaman kaybı gibi birçok olumsuz durumu da oluşturur. Otopark talebinin çözümünde sürdürülebilir bir çözüm yaklaşımı benimsenmelidir. Otopark sistemleri ile otopark alanlarını yönetmek ve daha etkin kullanılmasını sağlamak adına teknolojik çözümler sunmaktadır. Kentlerde otopark sorununu çözmek ve sürdürülebilir kentler oluşturmak adına akıllı ulaşım sistemi dahilinde otopark bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler ile mevcut kapasite daha etkin kullanılmakta ve sürücülere otoparklarla bilgiler sağlanmaktadır. Otopark bilgilendirme ve yönlendirme sistemleri; uygun park yerine yönlendirerek park arama süresini düşürmekte, yol üstü parklanmayı engellemekte, otopark alanlarında araç kuyruğu oluşturmamakta, sürücülerini P+D sistemini kullanmaya ve daha fazla yürümeye teşvik etmektedir (Doğaroğlu, 2019).

Akıllı Otopark Sistemleri (AOS); trafik kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılması ile seyahat süresinin ve yakıt tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunur. AOS ile otopark alanların optimize ve daha etkili sistem uygulamaları ile tam kapasite otopark kullanımını sağlar. AOS uygulamaları aşağıda açıklanmıştır.

**Park Yönlendirme ve Bilgi Sistemi:** Sürücülerin park yeri arama sürecinde yardımcı olmaktadır. Kentte park yönlendirme ve bilgi sistemi ile otoparkların doluluk durumu ile ilgili bilgiler verilir. Ayrıca otopark alanlarında da bulunan bu sistem ile sürücülerin uygun park yeri bulma konusunda yönlendirir. Bu sistem de amaç, park yeri ararken geçen zamanın özellikle kent merkezlerinde ve büyük otopark alanlarında azaltılmasını sağlamaktır.

**Toplu Taşıma (Transit) Tabanlı Bilgi Sistemi:** Park yönlendirme bilgi sistemine benzemekte olup sürücüler park et devam et sistemi otoparklarına yönlendirmektedir (Doğaroğlu, 2019). Bu sistem; otoparkların doluluğu, toplu taşıma saatleri ve trafik ile ilgili bilgi vermektedir. Bu sayede yolculukların toplu taşıma ile devam ettirilmesine de katkı sağlar. Araç kullanımının azaltılması, toplu taşımanın kullanılması ile yakıt tüketiminin düşürülmesi, hava kirliliğinin azaltılmasını sağlamaktadır.

**Akıllı Ücret Toplama Sistemi:** Ücret ödemesini kolaylaştırmak amacıyla akıllı ücret ödeme teknolojileri geliştirilmektedir. Bu sistem ile akıllı parkmetreler kullanılarak geleneksel ücret ödemenin kaynaklı gecikmeler önlenmektedir. Temaslı, temassız ve cep telefonları kullanılarak ödeme gerçekleştirilir. Ücret toplama amaçlı park yerlerinde bulunan elektronik parkmetreler kullanılır.

**E-park Sistemi:** Sürücülere otopark alanlarının doluluk durumunu gösteren, otopark alanı rezervasyonu imkânı sağlayan bir sistemdir. Rezervasyon ve ödeme sistemlerinin birleştirildiği teknolojik uygulamalar kullanılır. E-park sürücülere yolculuk başlangıcında gitmek istedikleri noktaya yakın otopark için bilgi vermekte ve rezervasyon, ücret ödemesi imkânı sunmaktadır. Bu sistem ile ücret ödeme kolaylığı, otopark doluluk bilgisinin sağlanması, park rezervasyonu, kişiselleştirilmiş bilgi sunumu ile park yeri arama süresi kısaltılmaktadır.

**Otomatik Otopark Sistemi:** Araçların mekanik olarak düşey ve yatay hareketlerle aracın uygun park yerine taşındığı sistemdir. Bu sistem ile sınırlı sayıdaki otopark alanı etkin düzeyde kullanılmaktadır.



Şekil 3. E-park Sistemi İstanbul Örneği- Parkkolay Uygulaması (Url-11)

## 2. Park Et Devam Et Sistemi (P+D)

Park et devam et (park and ride) veya öp ve bin (kiss and ride) olarak bilinmektedir. P+D sistemleri otobüs ya da raylı sistem gibi toplu taşıma sistemlerinin hat ve güzergâhlarını destekleyen, entegre olarak tasarlanmış alternatif ulaşım sistemleridir. P+D sistemi, 1970lerin başında Amerika'da ortaya çıkmıştır. Artan petrol fiyatları beraberinde toplu taşımanın tercih edilmesini sağlamış ve bu sistem önem kazanmıştır (Özdemir, 2006). P+D; bilgi sisteminden yararlanarak yolcuların özel araçlarını, toplu taşıma sisteminin yakınında yer alan bir otoparka park etmelerini ve yolculuklarına toplu taşıma ile devam etmelerini ya da bunun tam tersini sağlayan yolculuk olarak tanımlanmaktadır (Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimleri Sözlüğü, 2017). Kırmızı ve Çalışkan'a göre (2008) P+D, toplu taşımaya destek amaçlı ve özel araç kullanıcılarına yönelik parklanmadır. Özel araç kullanıcıları toplu taşıma terminallerine yakın noktalardaki P+D alanlarına özel aracını park ederek toplu taşıma aracına geçmektedir. Bu sistem ile kent içindeki yoğun alanlardaki trafik sorununa katkı sağlamakta ve toplu taşıma aktarma yapan özel araç kullanıcıları için tasarlanmış park yerleri olarak tanımlanmaktadır.



P+D alanları resmi ve resmi olmayan tesisler olarak ikiye ayrılmaktadır. Resmi tesisler P+D tabelası olan ve planla belirlenen alanlarda konumlanmaktadır. Resmi olmayan tesisler ise alışveriş merkezi gibi kentsel kullanımların yakınında yer alan ve transit geçiş güzergahında bulunan alanlardır.

P+D sisteminin ve tesislerinin amaçları şu şekilde belirtilmektedir (Önder, 2018; Tekcan, 2018):

- Taşıt emisyon salınımını azaltarak çevreye olan olumsuz etkileri azaltmak, çevre kalitesini artırmak
- Toplu taşıma entegre edilmesi ve taşıt paylaşımının teşvik edilmesiyle özel araç kullanımını azaltmak
- Yolculuk maliyetini ve trafik sıkışıklığını azaltmak ve taşıt kullanıcılarının seyahat kalitesini artırmak
- Bölgesel ulaşım akslarında çok çeşitli ulaşım ile ana aktivite merkezleri arasındaki bağlantı kurularak yol ağındaki işgallerin önüne geçmek
- Trafik sıkışıklığını azaltmak

P+D sistemleri, yolcu hareketliliğini desteklemekte ve yolcuların ulaşımında geçirdikleri zamanı azaltmaktadır. P+D sistemler genel olarak taşıtla gerçekleştirilen yolculuk sayısını azaltmakla birlikte trafik yoğunluğu üzerinde de olumlu etki sağlar. Bu sayede emisyon salınımı ve sera gazı miktarı azalarak ulaşımdan kaynaklı hava kirliliğinde düşüş yaşanmaktadır. P+D sistemleri bu yönleri ile çevre dostu bir ulaşım sistemi olarak göze çarpmaktadır.

P+D sisteminin etkin kullanımı kente ve kentsel ulaşımına birçok fayda sağlamaktadır (EPA, 2006; Önder, 2018):

- Trafik sıkışıklığını azaltır. Özel araçtan toplu ulaşımın kullanılması trafik yükünün azaltılmasına katkı sağlar.
- Yolculuk süresini azaltır.
- Toplu taşımanın kullanılmasını artırır.
- Zirve saatlerde olan trafik sıkışıklığını azaltmaktadır.
- Trafik sıkışıklığını azaltmasına bağlı olarak yolculuk süresini kısaltır.
- Kentsel çevrenin korunmasına katkı sağlar.
- Emisyon salınımı azaltarak hava kirliliğinin önüne geçmektedir.
- Özellikle kent merkezini taşıtların yarattığı olumsuz etkilerden korumaktadır.
- Kentlerde yaya hareketliliğini desteklemektedir.
- Trafik gürültüsünün azaltılmasına yardımcı olur.
- Toplumsal açıdan daha iyi ilişkilerin kurulmasını ve sosyal yapının güçlenmesini sağlar.
- P+D sistemlerinin diğer ulaşım türleri ile entegre edilmesi yolculara zaman ve mali açıdan kazanç sağlar.
- Aktarma noktalarına yürümeyi, bisiklet kullanımını ve taşıt paylaşımı ile sürdürülebilir bir kentsel canlılık sağlar.
- İş yolculuklarında kullanılan özel taşıt sayısını azaltarak yakıt giderlerini düşürür.
- Park ve geçiş ücreti ile kent merkezine taşıtla ulaşım maliyetini azaltır.
- Taşıtta ve trafikte geçen zamanı azaltarak trafiğe bağlı depresyonu önlemeye yardımcı olur.
- Taşıt kullanımını azalttığı için taşıt bakım maliyetlerini düşürür.

P+D sistemlerinin kente ve ulaşımına katkılarının yanı sıra olumsuz etkileri de vardır. Bu olumsuz etkiler genel olarak P+D otoparklarının kurulduğu alan ve ana aks üzerinde yer alan yerleşim alanlarına yöneliktir. P+D otoparkların planlandığı alanlarda aşağıda belirtilen etkiler tahmin edilmektedir.

- P+D sistemlerinin yer seçtiği alanlarda trafik ve hava kirliliği sorunları artabilir.
- Yakın çevresinde rantal artış olabilir.
- Kentsel yayılmayı destekleyebilir.

- P+D sisteminin konumlandığı aks üzerinde sıkışıklık ve erişebilirlikte sorunlara yol açabilir.

P+D otoparklarının yaratacağı bu olumsuz durumlara karşı birçok önlem alınabilmektedir. Otopark alanları açık yeşil alanlarla çevrenmeli, ana aks üzerinde sıkışıklığı azaltacak trafik yönetimi sağlanmalıdır. Arazi kullanımında değişiklik yapılarak rantın önüne geçilmelidir. Kentsel yayılmanın önlenmesi amacıyla karma kullanımlı politikalar benimsenmeli, TOD ve çok merkezli kentsel gelişim teşvik edilmelidir.

### **P+D Entegre Sistemleri**

P+D sistemleri ile çeşitli toplu taşıma sistemlerinin bütünleştirilmesi ile bu otoparkların kullanımı desteklenmektedir. Otobüs, raylı sistem, bisiklet, taşıt paylaşım, deniz ulaşımı, hava ulaşımı ile entegre edilmektedir.

P+D ve otobüs entegre sistemi (Bus+Ride): P+D park alanlarının otobüs sistemleri ile entegre edilerek oluşturulmaktadır. Özel araç ile aktarma istasyonlarına gelen yolcular taşıt park edip gidecekleri yere otobüs ile ulaşmaları sağlanmaktadır. Otobüse entegre P+D sistemleri, özel araç kullanıcılarının kent çeperinde aracını park ederek toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasını özendirmeyi amaçlayan aktarma alanlarıdır.

P+D ve raylı sistem entegre sistemi (Park+Rail): P+D sistemleri metro, tramvay, banliyö gibi raylı sistemler ile entegre edilebilmektedir. Bu sayede özel araç park edilerek raylı sistem ile yolculuk devam ettirilmektedir. Bu sistemler ile taşıt yollarına ve geniş arterlere bağlantı yapılarak trafik sıkışıklığı azaltılmaktadır. P+D, raylı sistem güzergâhı üzerinde yoğun ve önemli istasyonlarına kurulabilmektedir. Raylı sistem istasyonları konumu dahilinde yatırım sürecinde daha geniş otopark alanları planlanarak özel araç yolcuları çekme potansiyeline de sahiptir.

P+D ve bisiklet entegre sistemi (Bike+Ride): Otobüs ve raylı sistem toplu taşıma istasyonlarına bisiklet ile gelip toplu taşıma aktarma yapılmasını sağlamaktadır. Kent çeperinin yanı sıra kent merkezinde toplu taşıma istasyon ve durakları ile bisiklet parkları entegre edilebilmektedir.

P+D ve taşıt paylaşım entegre sistemi (Carshare+Ride): Kentin belirli bir bölgesinden aynı yöne doğru gerçekleşen okul, iş ve diğer amaçlı yolculukların P+D alanlarına taşıtlarını park edip taşıt paylaşımı ile yolculuğuna devam etmesi anlamına gelmektedir.

Yolcu indir devam et sistemi (Kiss&Ride): Bu sistem toplu taşıma biniş istasyon veya duraklarında sürücülerin araç içindeki yolcuyu indirerek yolcunun toplu taşıma ile yolculuğunu sürdürmesini ifade etmektedir. Uzun süre bir park etme değil yolcu alma ve bırakma şeklindedir. Yüksek hızlı tren, otobüs ve raylı sistem istasyon ve durakları ile entegre olmaktadır.

P+D ve hava ulaşımı entegre sistemi (Park+Fly): P+D sisteminin havalimanı ile entegre edilmesi, özel araçları ile yolculuk sonucu havalimanı yakınında yer alan aktarma istasyonuna park edip uçuş imkânı sağlamaktadır. Bu sistemler otobüs sistemleri ile de entegre edilmektedir. Otobüslerin havalimanı yakınında konumlandığı P+D tesisleri de vardır.

### **Dünya Kentlerinden Örnekler**

**Bristol, İngiltere:** Bristol, kentteki çevreyi iyileştirmeye yönelik 2000 yılından bu yana kentin iklim değişikliğine katkısını azaltmak için düzenlemeler yapmaktadır. Ulaşım ve enerji alanında yaptığı düzenlemeler ile 2015 yılında Avrupa Yeşil Başkent ödülünü almıştır. Kentte 2005'ten bu yana karbon emisyonlarında sürekli olarak azalma görülmektedir. Aynı zamanda sürdürülebilir enerji eylem planı ile yenilenebilir enerji üretimini arttırmıştır. Bristol Kent Profili (2016) raporunda belirtildiği üzere ulaşım sistemini sürdürülebilir ve daha etkin kılmak adına hedefler belirlenmiştir. Bunlar;

- Bristol kentinin toplu taşıma ağını geliştirmek
- Düşük emisyonlu araçların kullanımını artırmak
- Konut alanlarındaki sokakları iyileştirmek için halkın katılımcı olmasını sağlamak

- Yolcular için esnek ve sürdürülebilir yolculuk seçenekleri oluşturmak
- İyi bütünleştirilmiş ve güvenli bir yürüyüş ve bisiklet yol ağı oluşturmak

Karbon emisyonunun azaltılması amacıyla daha düşük karbonlu seyahat seçenekleri oluşturmak, özel araca alternatif geliştirmek, yolculuk davranışı etkilemek ve talep yönetmeye odaklanan ulaşım müdahalelerini kapsamaktadır.

Bristol kentinin hareketlilik planı; bireysel motorlu taşıt kullanımını azaltmak ve raylı sistem, otobüs, bisiklet ile yürümeyi teşvik etmek için entegre bir yaklaşım benimser. Kent merkezindeki otopark alanları azaltılmakta ve P+D sistemi bulunmaktadır. Bristol başarılı P+D sistemini, tren-otobüs değişimine izin vermek için bölgesel raylı sistemle entegrasyon yoluyla geliştirilmesi olarak belirtmektedir.

Bristol kentinde yer alan 4.500 kapasiteli P+D otopark alanları kent çeperinde ana yol güzergahı üzerinde yer almaktadır. Otobüs ulaşım sistemi ile entegre edilmiştir ve zirve saatlerde parklanma ücretsizdir. Entegre akıllı kart biletleme sistemleri ile toplu ulaşım desteklenmektedir.

**Vitoria-Gasteiz, İspanya:** Kentin kompakt yapısı sürdürülebilir kentsel ulaşım imkanları açısından avantaj sağlamaktadır. Kentte yaşayanların %95'i toplu taşımaya 300 metre mesafededir. Kentsel yayılmayı sınırlandırmak amacıyla kentin kompakt yapısının korunması amaçlanmaktadır. Bu amaçla kent merkezi ve çeperinde yer alan yeşil alanlar arasında bağlantının sağlanması için yürüyüş güzergahı planlanmıştır. Bu plan ile kentte yayalar ve bisiklet kullanıcılarına öncelik verilmesi sağlanmıştır. Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı ile yayaların öncelikli olduğu ulaşım benimsenmiştir. Farklı ulaşım taşıtları arasında entegrasyonun sağlanması, toplu ulaşım ile temiz ulaşım modellerini teşvik etmek önem kazanmıştır. Ulaşımında enerji verimliliğini sağlamak, erişilebilir ve güvenli bir ulaşım hizmetinin sağlanması ile yaşanabilir kamusal alanlar oluşturmak önem kazanmıştır.

**Nantes, Fransa:** 2013 Avrupa Yeşil Başkenti unvanı alan Nantes kentinde öne çıkan özelliği sürdürülebilir ulaşım politikalarıdır. Kentte toplu ulaşım, yaya ulaşımı ve bisiklet ulaşımının ön planda olduğu sürdürülebilir bir ulaşım politikası benimsenmiştir. Kent merkezi; araba ulaşımını en aza indirecek, erişilebilir ve yayalara uygun koşulları sağlayacak biçimde planlanmıştır. Bu politikalar dahilinde kentsel arazi ve gelişme araç trafiğini aza indirecek şekilde düzenlenmiştir. Kentte elektrikli tramvayların kullanımı da yaygındır. Uyguladıkları ulaşım politikası ile hava kirliliğinde ve CO<sub>2</sub> emisyon salınımında azalma görülmektedir.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, İstanbul kentinde yer alan 'P+D' uygulamasının sürdürülebilir ve entegre ulaşım kapsamında değerlendirmek amaçlanmaktadır. P+D sistemini ve uygulamasını değerlendirmek amacıyla ilk aşama sistemle ilgili veriler elde edilmiştir. İkinci aşama olarak, veriler ve araştırmalar sonucunda P+D sistemi sürdürülebilir ve entegre ulaşım çerçevesinde değerlendirilmiştir.

#### Alan Seçimi

İstanbul kentinin içerisinde yer aldığı bölgede tarih boyunca varlığını sürdürmesi ve Doğu-Batı sentezinin uluslararası alanda temsil edildiği bir alanda yer alır. Kıtalar ve bölgelerarası ulaşım ağları bakımında stratejik konumdadır. Özellikle ekonomik açıdan da güçlü bir potansiyele sahip olan İstanbul; 1950'li yıllardan itibaren nüfusun yer seçtiği, sürekli artan nüfusu ile oluşan sosyo-ekonomik baskısı sonucunda kentin planlı gelişmesini zorlaştırmıştır. İstanbul, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bir kenttir. Cumhuriyet sonrası dönemde sanayi ağırlıklı gelişimin hızlanması İstanbul'a yönelik yoğun göç hareketini başlatmıştır. İstanbul kentinin hızla gelişmesinde arazi kullanım ve ulaşımın karşılıklı etkisi belirleyici olmuştur. İlk olarak D-100 karayolu aksı boyunca gelişen kent, daha sonra kuzeyde yer alan TEM Otoyolu aksı doğrultusunda gelişim göstermiştir. Göç ile nüfusun yer seçimi bu süreçte önemli rol oynamıştır (İUAP, 2011). İstanbul kentine olan talebin karşılanamaması kentin kontrolsüz büyümesine neden olmuştur. Kentin, alt merkezler bakımından yeterince gelişmediği ve tek merkezden dışa doğru 'yağ lekesi' bir yapıda geliştiği görülmektedir. Sosyo-ekonomik açıdan geçmişte olduğu gibi

günümüzde de ülkenin en önemli yerleşim alanı ve çekim merkezi olarak nüfusu artmaktadır (İUAP, 2011). İstanbul kentinde arazi kullanımı 'karma arazi kullanımı' olarak tanımlanmaktadır. Konut, ticaret, ofis ve diğer arazi kullanımları bir arada bulunmaktadır.

İstanbul kentinde 2021 yılı itibariyle toplam taşıt sayısı 4.629.170'dir. Otomobilin payı ise 3.154.804'dür (TÜİK, 2021). Bu pay İstanbul kentinde otomobil kullanımı azaltıcı önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Kentte artan nüfusa bağlı olarak kentsel yayılma da görülmektedir. Özel araç sahipliğinin artması ve teknolojinin gelişmesi de kentin saçaklanmasında etkili olmuştur. Kentte her gün yaşanan trafik sıkışıklığı ve çevresel etkileri kentsel sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. Bu bakımdan kentte taşıt kullanımının azaltılması amacıyla önlemler alınmaktadır. Kent merkezine araç girişini azaltan ve toplu taşıma sistemlerini kullanmayı amaçlayan P+D sisteminin kentte uygulama alanı bulması bu noktada önemlidir. Bir sonraki bölümde İstanbul kentinde yer alan P+D sistemi özellikleri verilmiş ve entegre ulaşım türleri belirtilmiştir. Bu kapsamda sistem entegre ve sürdürülebilir ulaşım doğrultusunda değerlendirilmiştir.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

P+D sistemleri Dünya'nın farklı kentlerinde 19.yy ikinci yarısından itibaren planlanmaya başlanmıştır. Türkiye'de ise İstanbul kentinde İSPARK yürütücülüğünde 2000lerde uygulanmaya başlamıştır. Kentte P+D sistemlerinin uygulama alanı bulması trafik yoğunluğunun ve trafik sıkışıklığı problemlerini çözüme konusunda önemli bir adım olarak görülmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) bünyesinde İSPARK tarafından, Türkiye'de ilk kez 2006 yılında Ümraniye Haldun Alagaş Otoparkında P+D sistemi uygulanmıştır. Deniz ulaşımı, metrobüs ve raylı sistem istasyonlarıyla entegre edilerek kentte toplu taşıma kullanılmasının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır (Dündar, 2010). İstanbul kentinde ulaşımın planlanmasında trafik sıkışıklığının azaltılması önemli bir konudur. Bu amaç doğrultusunda kent merkezi dışında banliyö treni istasyonları yakınlarında, kent merkezinde ise metro, tramvay, metrobüs durakları ve vapur iskeleleri yakınlarında P+D tesisleri inşa edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İstanbul P+D ve Entegre Ulaşım Türleri

P+D sistemlerinin kentlerde uygulanması ile trafik sıkışıklığının azaltılması, toplu taşıma sistemlerinin kullanımının sağlanması, taşıt kullanımından oluşan hava kirliliği, gürültü kirliliği, emisyon salınımı gibi çevresel etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. İstanbul kentinde uygulama alanı bulunan P+D sistemleri deneyimi ile birçok amaç belirtilmiştir. Bunlar (İSPARK, 2015);

- Toplu taşımayı teşvik,
- Daha az yol işgali,
- Düşük oranda emisyon salınımı ile küresel ısınmanın önlenmesi,
- Trafik odaklı stresin azaltılması,
- Daha az yakıt tüketimi,
- Yol kenarı otoparklarda daha çok hava akışının sağlanması,
- Zamandan tasarruf,
- Sirkülasyonun artması dolayısıyla ekonomik canlılık amaçlanmıştır.

Kentte; trafiğin yoğun olduğu alanlarda 25 adet Avrupa Yakası, 18 adet otopark ise Anadolu Yakasında olmak üzere toplamda 43 adet P+D alanı bulunmaktadır. Kentte trafiğin yoğun olduğu 43 noktada yer alan P+D otopark alanları çeşitli toplu ulaşım sistemleri ile entegre edilmiştir (İSPARK, 2022). Raylı sistem olan metro, Marmaray; deniz ulaşımı vapur, deniz aracı; metrobüs, havaalanı, tren ve otogar yakınlarında P+D otopark alanları yer seçmiştir. P+D alanlarını otopark türlerine göre yol üstü, katlı, kapalı ve açık otoparklar olarak sınıflandırmak mümkündür. P+D otoparkları genellikle açık otopark türüdür. Avrupa Yakasında yer alan Akgün Caddesi, Anadolu Yakasında yer alan Acıbadem P+D ile Kartal Açık otoparkları yol üstü otoparklarıdır. Katlı otoparklar ise Darüşşafaka Yeraltı Otoparkı, Hacıosman Metro Yeraltı Otoparkı, Levent Metro Yeraltı Otoparkı ve Gülsuyu Metro Yeraltı Otoparkıdır.

Tablo 1 ve Tablo 2 de de belirtildiği üzere otopark kapasiteleri 53 ile 1500 arasında değişmektedir. Kentte bulunan P+D alanları toplamda 14bin taşıt kapasitelidir. Yılda yaklaşık 3,5 milyon yolcuya hizmet veren otopark alanları toplu taşıma kullanımını teşvik etmek amacıyla düşük ücretli otopark alanlarıdır.



Şekil 5. Avrupa Yakası P+D Otopark Konumları (Url-7) [Yazarlar tarafından düzenlenmiştir.]

Tablo 1’de görüldüğü üzere Avrupa Yakasında P+D sistemi deniz ulaşımı, metro, metrobüs, tren, tramvay ve Marmaray toplu taşıma sistemleri ile entegre edilmiştir. En az otopark kapasitesi Akgün Caddesi otoparkı 78 araç kapasitelidir. En yüksek ise Bağcılar Kent Meydanı Zemin Altı 1162 araç kapasitelidir.

**Tablo1.** Avrupa Yakası P+D Otoparkları (İSPARK, 2022; Url-7)

Konum	Kapasite	Entegre Ulaşım Türü	Konum	Kapasite	Entegre Ulaşım Türü
Akgün Caddesi	78	Metro	Güneş Plajı 1	250	Tren
Alibeyköy Cep Otoparkı P+R	88	Otogar Tramvay	Güneş Plajı 2	1000	Tren
Alibeyköy Metro P+R	100	Metro	Haciosman Metro Yer Altı Otoparkı	422	Metro
Avçılar İdo	400	Vapur Deniz Aracı	Kazlıçeşme Marmaray Açık Otoparkı	700	Metro
Avçılar Meydan Açık Otoparkı	600	Metrobüs	Kirazlı Metro Durağı P+R	650	Metro
Avçılar Sosyal Tesisleri Yanı P+R	200	Metrobüs	4. Levent P+R Açık Otoparkı	950	Metro
Azapkapı Haliç Metro Otoparkı	130	Metro	Levent Metro Yer Altı Otoparkı	100	Metro
Bağcılar Kent Meydanı Zemin Altı	1162	Metro	Maslak P+R	150	Metro
Bakırköy İdo İskelesi Önü	180	Vapur Deniz Aracı	Menekşe Plajı	200	Tren
Başakşehir Metro P+R	125	Metro	Merter Metro P+R	300	Metro
Büyükçekmece Metrobüs Durağı Yanı Zemin Altı	498	Metrobüs	Yenikapı Marmaray Büyük Otoparkı	300	Marmaray Metro
Darüşşafaka Yer Altı Otoparkı	120	Metro	Yenikapı Marmaray Küçük Otoparkı	200	Marmaray Metro
Esenler Menderes Metro İstasyonu Yanı	150	Metro			

Çeşitli ulaşım modları ile entegre olan bu otopark alanları toplu taşıma durağına en yakın 30 metre yürüme mesafesinde bulunan Akgün Caddesidir. Bakırköy İDO İskelesi Önü ise Cevizlik otobüs durağına 50 m mesafede yer almaktadır (Salih, 2019). Bu bağlamda P+D alanlarının toplu taşıma sistemlerine yürüyüş mesafesinde yer aldığı görülmektedir. Yenikapı P+D otopark alanı ile entegre olmuş Marmaray ve metro hatları sayesinde Üsküdar, Kartal, Taksim, Bağcılar ve Başakşehir'e seyahat etmek mümkündür.



Şekil 6. Anadolu Yakası P+D Otopark Konumları (Url-7) [Yazarlar tarafından düzenlenmiştir.]

Anadolu Yakasındaki P+D sistemi deniz ulaşımı, metro, metrobüs ve havaalanı ile entegre edilmiştir. 53 araç kapasiteli Uzunçayır Açık Otoparkı en az kapasiteye sahiptir. Çengelköy Açık Otoparkı ise 1500 araç kapasitesine sahiptir.

Tablo 2. Anadolu Yakası P+D Otoparkları (İSPARK, 2022; Url-7)

Konum	Kapasite	Entegre Ulaşım Türü	Konum	Kapasite	Entegre Ulaşım Türü
Acıbadem Açık Otoparkı	100	Metrobüs	Kartal Köprüsü P+R	500	Metro
Acıbadem P+D	160	Metrobüs	Küçükyağlı P+R	150	Metro
Adnan Kahveci Metro Açık Otoparkı	80	Metro	Pendik Tavşantepe P+R Açık Otoparkı	430	Metro
Bostancı Açık	550	Metro	Sabiha Gökçen P+R	1020	Havaalanı
Çengelköy Açık Otoparkı	1500	Vapur Deniz Aracı	Soğanlık Metro Açık Otoparkı	500	Metro
Eski Salı Pazarı	1350	Vapur Deniz Aracı	Tuzla İdo İskelesi	300	Vapur Deniz Aracı
Gülsuyu Metro Yeraltı Otoparkı (Maltepe)	150	Metro	Uzunçayır Açık Otoparkı	53	Metrobüs
Kadıköy Açık Otoparkı	1000	Metro Vapur Deniz Aracı	Uzunçayır P+R	150	Metrobüs
Kartal İdo Açık Otoparkı	90	Metro	Üsküdar Ünalın Açık P+R	300	Metro

Acıbadem P+D, Küçük Çamlıca otobüs durağına 50 m yürüme mesafesinde yer almaktadır. Çengelköy Açık Otoparkı Şehit Burak Cantürk otobüs durağına, Gülsuyu Metro Yeraltı Otoparkı Gülsuyu Metro otobüs durağına, Pendik Tavşantepe P+R Açık Otoparkı M4 hattında Tavşantepe istasyonuna 50 m

yürüme mesafesinde konumlanmışlardır. Kadıköy Eski Salıpazarı Otoparkı Söğütluçeşme metrobüs durağına 700 m yürüme mesafesinde, Acıbadem P+D Acıbadem metrobüs durağına 450 m mesafede, Çengelköy Açık Otoparkı Çengelköy iskelesine 450 m yürüme mesafesinde yer almaktadır (Salih, 2019).

İSPARK “Park Et Uçakla Devam Et” projesi kapsamında uçakla yolculuk edecek sürücülere otopark alanı sağlamıştır. Sabiha Gökçen P+D otopark alanından Sabiha Gökçen Havalimanına ücretsiz ring servisleri mevcuttur. Bu tesis ile havalimanı arasındaki mesafe 3.5 km’dir. P+D alanlarının toplu taşıma durak veya istasyonlarına olan yürüme mesafelerine bakıldığında çoğunlukla yürüme mesafesinde olduğu görülmektedir. Tesis arasında en uzun mesafe olan istasyona ise ring servisleri sağlanmıştır. Kadıköy Açık Otopark alanında helikopter pisti de bulunmaktadır. Hava ulaşımını yaygınlaştırmak, acil durumlarda ambulans hizmeti vermek amacıyla planlanmıştır (Url-8).



Şekil 7. İstanbul P+D Otopark Alanlarından Görünüm (İSPARK, 2022)

İstanbul kentinde bisiklet kullanımı yaygınlaştırılması amacıyla akıllı bisiklet ve ücretsiz bisiklet otoparkları planlanmaktadır. Sürdürülebilir çevreye duyarlı P+D otoparkları, akıllı bisiklet, ücretsiz bisiklet parklar, güneş enerjisi ile çalışan tabelalar kente uygulama alanı bulmaktadır. Kartal İDO Açık Otoparkı, Bostancı Açık Otoparkı, Avcılar İDO, Kadıköy Açık Otoparkı, Bakırköy İDO İskelesi Önü, Çengelköy Açık Otoparkı, Kazlıçeşme Marmaray Açık Otoparkı, Avcılar Sosyal Tesisleri Yanı, Menekşe Plajı, Güneş Plajı 1-2, Yenikapı Marmaray Küçük Otoparkı ve Yamanevler P+R Açık Otoparkı olmak üzere 13 adet P+D otoparklarında bisiklet istasyonu bulunmaktadır (İSPARK, 2021). Özellikle metro istasyonlarına yakın noktalarda yer alan bisiklet parkları ile bisikleti ücretsiz park edip yolculuğuna metro ile devam etmektedir.



Şekil 8. Bisiklet P+D Park Alanlarından Görünüm

Kentte P+D otopark alanları ile metro, metrobüs, otobüs, Marmaray istasyonları ile denizyolu ve havayolu ulaşımı ile entegre edilmiştir. Bu sayede P+D otopark alanına özel aracı ile gelen yolcu bu alanlara park edip gideceği yere toplu taşıma ile gidebilmektedir. Böylece trafik sıkışıklığında azalma ve çevreye olan olumsuz etkilerinde azalma görülmektedir. P+D ile toplu taşıma yönlendirilen yolcu entegre ulaşım ile örneğin Kadıköy Ayrılıkçeşme otoparkına aracını bırakan sürücü Marmaray’ı kullanarak Yenikapı’ya buradan aktarma yaparak Aksaray metrosu ile havaalanına aynı zamanda da Metrobüs ile



Beylikdüzü'ne trafik stresi yaşamadan kısa zamanda ulaşabilmektedir. İstanbul'daki P+D tesislerini işleten İSPARK 2018 verilerine göre İstanbul kentinde uygulanan P+D deneyimi ile dünya kentlerinde de olduğu gibi kentsel ulaşım ve ulaşımın çevresel etkileri bağlamında birçok fayda elde edildiğini görmek mümkündür. Kentte daha az taşıtın yola çıkması teşvik edilmesi ile daha az yol işgal edilmiştir. Bu sayede trafik yoğunluğunda az da olsa bir azalma görülmüştür. P+D sisteminden yılda yaklaşık 3,5 milyon kişinin yararlanmış. Her gün yaklaşık 100 kilometre araç konvoyunun trafikten çekilmesi ile yılda 2.3 milyon litre yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Zirve saatlerin dışında da trafiğin yoğun olduğu kentte trafikte önemli bir azalma olarak görmek mümkündür. Trafikte geçirilen sürenin azalması ile kentsel ulaşımında zaman kayıpları önlenmiştir. Sürücüler araçlarını otoparklara bırakarak yürüme mesafesinde olan ulaşım araçlarına kullanarak trafik stresine girmeden kısa zamanda gidecekleri noktaya ulaşabiliyorlar. Saatlerce trafikte bekleme ve dolaşıma bağlı fiziksel ve zihinsel yıpranmalar ile trafik stresi azaltılmıştır. Daha az yakıt kullanarak ekonomik fayda sağlanmış ve sürdürülebilir kentsel alanlar bağlamında olumlu bir etkisinin olduğunu görmek mümkündür. 35 milyon km mesafe tasarrufu ile yılda yaklaşık 150 bin ton karbondioksit salınımının çevreye yayılması engellenmiştir (İSPARK, 2017). Özel araç kullanımının azaltılması ile çevresel kirlilikler ve fosil yakıtı bağımlılık oranı azaltılmıştır. Bu bilgiler bağlamında ekonomiye yaklaşık 15 milyon TL kazandırılmıştır.



Şekil 9. İSPARK Akıllı Cep Uygulaması (İSPARK, 2018)

Akıllı kentler bağlamında kentlerde uygulama alanı bulan mobil uygulamalar ulaşım alanında da fayda sağlamaktadır. Kentliler P+D otoparklarına İSPARK cep uygulamasını kullanarak navigasyon ile kolayca ulaşmaktadır. Bu uygulama ile otoparkların yeri, kapasitesi, doluluk bilgisi ve fiyat tarifeleri uygulama üzerinden görülebilmektedir. İSPARK cep uygulaması içerisinde açık, katlı ve yol üstü olan otoparkların adresleri bulunmaktadır. Sürücüler en yakın noktadaki otoparklara navigasyonu kullanarak kısa zamanda ulaşabilmektedir. Otopark ücretlerini kredi kartı, İstanbulkart ve temassız ödeme imkânı ile İSPARK mobil uygulama üzerinden de ödenebilmektedir. Toplu taşıma sistemleri arasındaki entegrasyon kadar ücret ödeme sistemleri arasındaki entegrasyonda önem kazanmaktadır. Toplu taşıma da kullanılan İstanbulkart ile otopark ücret ödemesi de yapılabilmektedir. Aynı zamanda toplu taşımalarda temassız kredi kartları da kullanılmaktadır. Kullanımı basit, az riskli ve temini kolay olan bu kartların ulaşım sistemi ve otoparklarda kullanılması parklanmayı kolaylaştırmakta ve süresini düşürmektedir. Bu sayede trafiği olumlu yönde etkilenir.



**Şekil 10.** İstanbul Kentinde Uygulanan Akıllı Ücret Toplama Sistemi (Url-1)

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, yolculuk talebinin doğru yönlendirildiğinde kentlerin sürdürülebilir gelişmesi sağlanmasında ve ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılmasında etkisi olduğu görülmektedir. Kentlerde özel araç sahipliğinin artması hava ve gürültü kirliliği, karbon emisyon salınımı gibi çevresel sorunlarını beraberinde getirdiği açıktır. Özellikle kent merkezlerinde trafik sıkışıklığının yaşanması, park yeri aramak için duraklama ve zaman kaybı gibi olumsuz etkileri de yaşanmaktadır. Kentlerde daha yaşanabilir alanlar oluşturmak ve sürdürülebilir kentsel gelişmeyi sağlamak adına ulaşım alanında birtakım politikalar üretilmeye başlanmış, ülkemizde ve dünya kentlerinde uygulama alanı bulmuştur. Kent içerisindeki trafik yoğunluğunun azaltılması için kent çevresinde planlanan ve toplu taşıma ile entegre edilen 'Park et devam et' sisteminin kentlerde uygulama alanı bulmaktadır. P+D sistemi ile toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması, yaya ve bisiklet ulaşımının desteklenmesi ile özel araç kullanımının azaltılması ve kaynaklı sorunların önüne geçilmesi sağlanmaktadır. İstanbul kentinde de uygulama alanı bulan P+D otopark alanları ile toplu taşımanın teşvik edilmesi ve özel araç kullanımının azaltılması ile ulaşımdan kaynaklı olumsuz durumların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. İstanbul gibi metropol bir kentte ulaşım talebinin iyi planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. P+D sisteminin, toplam taşıt sayısı içerisinde otomobilin %69luk paya sahip olduğu kentte gerekliliği açıktır. İstanbul kentinde otopark politikalarına bakıldığında daha çok park arzı ve düşük otopark ücretlerinin uygulanmasını kapsıyordu. Bir talep var ve bu talebi karşılayacak arz dikkate alınmaktaydı. Bu durum kentsel saçaklanmanın teşvik edilmesi, kentsel gelişme maliyetinin artması ve otomobil ile olan yolculukların artışı gibi sonuçları doğurmuştur. P+D sistemi ile ulaşım talebinin sürdürülebilir ulaşımı yönlendirilmesinde bir araç teşkil etmektedir. Sürdürülebilir kentsel ulaşım, ulaşımın çevresel boyutu kadar ekonomik ve sosyal boyutları da dikkate alınmalıdır. Ulaşımdan kaynaklı yararlı ve zararlı etkilerin dengeli dağılması ve gelir ile hareketlilikle orantılı olarak ücretlendirmenin sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda temel ulaşım ihtiyacının herkes tarafından karşılanabilir olması gerekmektedir. Toplumda bireyler arasında etkileşimi artırmak ve ulaşım güvenliğinin geliştirilmesi gerekmektedir.

İstanbul'da 43 noktada bulunan P+D otopark alanları çeşitli toplu taşıma sistemleri ile entegre edilmiştir. Otopark alanı ile toplu taşıma durak ve istasyonları ile entegrasyon sağlanmıştır. Fiziksel entegrasyona ilaveten kentte bilet ve bilgilendirme entegrasyonu da bulunmaktadır. İstanbul kenti ulaşım kartı olan 'İstanbulkart' ile otopark ücreti ödemesi, otobüs, metrobüs, Marmaray, deniz ulaşımında kullanılmaktadır. Hat, sefer planı, tarife gibi bilgilerin yer aldığı uygulamalar ile toplu taşıma sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca otopark bilgilerinin yer aldığı, kapasite, ücret bilgisi ve ücret ödemesinin sağlandığı uygulama kentte kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, İstanbul nüfus artışı yüksek ve göç alan bir kenttir. Hızlı nüfus artışının kentsel mekân üzerinde etkileri de olmaktadır. Otomobil kullanımının da artması kentsel saçaklanmayı etkilemiştir. Bu bağlamda kentte otomobil kullanımının azaltılması ve toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi önem kazanmıştır. P+D sisteminin kentte kullanılmasının sağlanması gerekmektedir. Kent merkezinde özel araç kullanımının azaltılması amacıyla önlemler alınmalıdır. Kent merkezinde otopark ücretleri uzun süreli park etmeyi caydırıcı düzeyde yüksek tutulmalıdır. Otopark sisteminin verimli kullanılabilmesi için politikalar ve programlarla desteklenmelidir. Sürdürülebilir ulaşımın sağlanmasında bu politikalar uygulanmalıdır.

Türkiye’de özellikle özel araç kullanımının yüksek olduğu kentlerde toplu taşıma sistemlerinin yaygınlaştırılması ve kullanılması önem kazanmaktadır. Kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması kapsamında ulaşımın çevresel olumsuz etkilerinin önlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ulaşım sistemlerinin P+D sistemi ile entegre edilmesi özel araç kullanımının azaltılmasında fayda sağlayacağı açıktır.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

#### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

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

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

#### **Kaynakça**

**Ağaoğlu, M , Başdemir, H .** (2019). Şehir içi ulaşım sorunları ve çözüm önerileri . Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi , 8 (1) , 27-36 .

**Akıllı Ulaşım Sistemleri Terimleri Sözlüğü.** (2017). Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Yayınları.

**Aydemir, K.P., Akyüz, B., Yılmazsoy, B., Akdemir, Ç., Güler, S.** (2018). Kentsel Ulaşımında Yaya Öncelikli Planlama/Tasarım ve Transit Odaklı Gelişimin Metropol Kentlerdeki Deneyimi, İstanbul Örneği. Kent Akademisi, Volume, 11 (36), Issue 4, Pages.

**Deveci M., Canitez F. Ve Demirel N.Ç.** (2015). Toplu Ulaşımında Entegrasyon Basamakları: Kavramsal Bir İnceleme, TRANSIST 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, 17-19 Aralık 2015 İstanbul Kongre Merkezi, İstanbul.

**Doğaroğlu, B.** (2019). Akıllı Otopark Sistemi Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi.

**Dündar S.** (2010). Park Et Bin Sistemi ve İstanbul’da Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ulaştırma Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.

**İSPARK.** (2015). Park Et Devam Et Otoparkları, Erişim: 17.12.2021, <https://ispark.istanbul/projeler/park-et-devam-et/>

**İSPARK.** (2016). İstanbul Otopark Ana Planı, Yayın No:1, İstanbul.

**İSPARK.** (2021). İSPARK Avrupa Hareketlilik haftasına çevre dostu proje Erişim: 03.12.2021, <https://ispark.istanbul/haberler/isparktan-avrupa-hareketlilik-haftasina-cevre-dostu-projeler/>

**İSPARK.** (2022). İSPARK Park Et Devam Et Otoparkları, Erişim: 6.2.2022, <https://ispark.istanbul/projeler/park-et-devam-et/#:~:text=%C4%B0SPARK%2C%20Park%20Et%20Devam%20Et%20Otoparklar%C4%B1&text=%C4%B0stanbul%20genelinde%20trafi%C4%9Fin%20yo%C4%9Fun%20oldu%C4%9Fu,yakla%C5%9F%C4%B1k%203.5%20milyon%20ki%C5%9Fi%20yararlan%C4%B1yor>

**İUAP, İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı.** (2011). İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü.

**Kaplan H. ve Ulukavak H.G.** (2013). Kentlerimizde Sürdürülebilir Bütünleşik Ulaşım Doğru: Sorun ve Olanakların İncelenmesi, TRANSIST 6. Ulaşım Sempozyumu ve Fuarı.

**Kaplan H., Önder H.G.** (2014). Kentlerimizde Sürdürülebilir Ve Bütünleşik Ulaşım Bağlamında Park Et-Devam Et Sistemlerinin Yeri, TRANSİST 2014 7. Uluslararası ulaşım teknolojileri sempozyumu, İstanbul.

**Kütük, T., Yalçın Ercoskun, Ö.** (2019). Ankara-Batıkent ve Kuru Metro İstasyonlarının Toplu Taşıma Odaklı Gelişim (TOD) ve Sürdürülebilir Kentsel Tasarım İlkeleri Çerçevesinde Değerlendirilmesi. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD), 4 (2), 140-154.

**Luk, J.Y.K, Olszewski, P.** 2003, "Integrated public transport in Singapore and Hong Kong", Road & Transport Research., Vol.12, No.4, pp.41-51, 2003.

**Önder H. G.** (2018). Sürdürülebilir Bütünleşik Ulaşım Kurgusunun Park Et-Devam Et Sistemi İle Modellenmesi: Ankara Metropolitan Alanı Kent Merkezi Örneği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

**Özdemir, V. İ.** (2006). Park Et-Devam Et Tesisleri ve Harem Otoparkı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

**Polat, Z.** (2015). Sürdürülebilir Ulaşım, Çevre ve Ulaşım İlişkileri (syf:115), Karahan Kitabevi.

**Salih, G.** (2019). Park Et Devam Et Tesislerinin Erişilebilirliğinin Hesaplanması İçin Yeni Bir Model Yaklaşımı: İstanbul Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

**Sat, N.A., Gürel Üçer, Z.A., Varol, Ç., Yenigül, S.B.** (2017). Sürdürülebilir Kentler İçin Çok Merkezli Gelişme: Ankara Metropolitan Kenti İçin Bir Değerlendirme, Ankara Araştırmaları Dergisi Volume 5, Issue 1, p. 98-107.

**Şahin F.S.** (2017). Çevre Dostu Kentler İçin Ulaşım Kriterlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Şimşek A. V.** (2014). Sürdürülebilir Ulaşım Politikaları Çerçevesinde Özel Araç Sahiplerinin Toplu Taşımaya Yönlendirilmesinde Park Et Devam Et Yöntemi; İstanbul Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Tekcan, O.** (2018). Toplu Taşıma Kullanımının Arttırılmasında Park Et - Devam Et Sisteminin Etkinliği: Manisa Kent Merkezi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

**TÜİK.** (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, İllere Göre Motorlu Kara Taşıtları Sayısı, Kasım 2021.

**Uğurlar, A.** (2019). Kentsel ulaşımında özel araç odaklı düzenlemelere eleştirel bir bakış . OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi , 13 (19) , 1976-2014 .

**Varol, Ç., Sat, N.A., Gürel Üçer, Z.A., Yenigül, S.B.** (2017). Metropolen Alanlarda Çok-Merkezli Mekansal Gelişmelerin Sürdürülebilirlik Üzerinden Değerlendirilmesi: Avrupa Birliği'ndeki Uygulamalar, Türk Bilim Araştırma Vakfı, cilt:10, sayı:1, p. 61-74.

**Yalçın Ercoşkun, Ö.** (2015). Smart Technologies for Sustainable Mobility, Using Decision Support System for Transportation Planning Efficiency, p. 288-310, Ankara.

**Yalçın Ercoşkun, Ö., Öcalır Akünal, E.V.** (2017). Engineering Tools and Solutions for Sustainable Transportation Planning, p. 204-223.

**Yalçın Ercoşkun, Ö.** (2021). Ulaşım ve Sürdürülebilirlik. Özge Yalçın Ercoşkun'a ait 2021-22 Güz Yarıyılı Ders Notları (36 sayfa). Gazi Üniversitesi Şehir Ve Bölge Planlama Bölümü ve Trafik Planlaması ve Uygulaması, Ankara.

**Url-1** <<http://www.yerelgazete.com.tr/ispark-yogun-ilgi-goren-kartli-odeme-suresini-uzatti/>>, erişim tarihi 02.12.2021.

**Url-2** <<https://ispark.istanbul/haberler/bisikletle-gel-metroyla-devam-et/>>, erişim tarihi 03.12.2021.

**Url-3** <<https://ispark.istanbul/haberler/metroda-ucretsiz-bisiklet-parklar/>>, erişim tarihi 03.12.2021.

**Url-4** <<https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/winning-cities/2015-bristol/>>, erişim tarihi 09.12.2021.

**Url-5** <<https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/winning-cities/2013-nantes/>>, erişim tarihi 09.12.2021.

**Url-6** <<https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/winning-cities/2012-vitoria-gasteiz/>>, erişim tarihi 09.12.2021.

**Url-7** <<https://ispark.istanbul/otoparklarimiz/>>, erişim tarihi 01.12.2021.

**Url-8** <<https://ispark.istanbul/haberler/ispark-havacilik-sektorunu-bir-araya-getirdi/>>, erişim tarihi 28.12.2021.

**Url-9** İSPARK,2018. <<https://twitter.com/ispark/status/1037995598258077696>>, erişim tarihi 28.12.2021.

**Url-10** <<https://ispark.istanbul/haberler/>>, erişim tarihi 09.12.2021.

**Url-11** Parkkolay Uygulaması, 2017. <<https://startupfon.com/detail/3/parkkolay>>, erişim tarihi 23.01.2022.