



**BANDIRMA  
ONYEDİ EYLÜL  
ÜNİVERSİTESİ**



**JITSA**

**Journal of Intelligent Transportation  
Systems and Applications**

Cilt / Volume: 7

Sayı / Issue: 2

Yıl / Year: 2024





**İÇİNDEKİLER / CONTENT**

- Predicting battery capacity with artificial neural networks** .....99-112  
Yapay sinir ağları ile batarya kapasite durumu tahmini yapılması  
İsmail Kılıç, Musa Aydın, Hasan Şahin  
Research Article
- The impact of innovative transportation services on travel behaviors: A case study of Istanbul** ..... 113-126  
Yenilikçi ulaşım hizmetlerinin seyahat davranışlarına etkisi: İstanbul örneği  
Mehmet Yazıcı, Yavuz Delice  
Research Article
- Havalimanlarında inovasyon uygulamalarının karşılaştırılması** ..... 127-145  
A Comparison of innovation practices at airports  
F. Didem Göçmen  
Araştırma makalesi
- The impact of increasing traffic volume on autonomous vehicles in roundabout** ..... 146-165  
Dönel kavşakta artan trafik hacminin otonom araçlar üzerindeki etkisi  
Ali Almusawi, Mustafa Albdairi  
Research Article
- Analysis of signalized roundabouts with intelligent transportation systems - The case of Gaziantep junction 40 (Shell)**  
..... 166-192  
Sinyalize dönel kavşakların akıllı ulaşım sistemleri ile analizi- Gaziantep 40 nolu (Shell) kavşağı örneği  
Abdulhalim Bilgin, Caner Pense  
Research Article

**Socio-economic impacts resulting from the integration of artificial intelligence into electronic surveillance systems in traffic ..... 193-202**

Trafikteki elektronik gözetim sistemlerine yapay zeka entegrasyonu sonucu elde edilecek sosyo-ekonomik etkiler

Mesut Samastı

Research Article

**Havacılık yönetimi: WoS verilerine dayalı bibliyometrik analizi (1993-2023) ..... 203-214**

Aviation management: Bibliometric analysis based on WoS data (1993-2023)

Deniz YILDIZ

Araştırma makalesi

**Akıllı ulaşım sistemleri için LoRa tabanlı telemetri veri aktarım sistemi tasarımı ..... 215-241**

The design of a LoRa-based telemetry data transmission system for intelligent transportation systems

İnci Umakoğlu, Derya Keskin, Caner Pense

Araştırma makalesi

**Toplu ulaşım sisteminde sürücü tanıma sistemi:Türkiye taksi örneği ..... 242-262**

Driver recognition system in urban transportation: A case study on taxis

Bilal Kartal, Mehmet Tektaş, Necla Tektaş

Araştırma makalesi

**Critical Connections: Enhancing Aviation Safety Through Network Analysis ..... 263-285**

Kritik Bağlantılar: Ağ Analizi ile Havacılık Güvenliğini Artırmak

Ayşe Aslı Yılmaz

Research Article

**Türkiye'nin MAAS platformu için veri ve ödeme yöntemi standardizasyonu ..... 286-303**

Data and payment method standardization for Turkey's MAAS platform

Nihan Karacameydan İncemehmetoğlu, Kubilay Tuğlu, Özlem Coşkun, Ömer Mahir İrdam, İsa Avcı, Bahadır Furkan Kınacı

Araştırma makalesi



Havayolu operasyonlarında DEA yöntemi ile yeni uçuş rotasının belirlenmesi ..... 304-315

Determination of new flight route with DEA method in airline operations

Ali Akbaba

Araştırma makalesi

## Research Article

### Predicting battery capacity with artificial neural networks

İsmail KILIÇ<sup>1\*</sup>, Musa AYDIN<sup>2</sup>, Hasan ŞAHİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical-Electronics Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

<sup>2</sup>Department of Electrical-Electronics Engineering, Konya Technical University, Konya, Turkey

<sup>3</sup>Department of Industrial Engineering, Bursa Technical University, Bursa, Turkey

\*Correspondence: [21278034025@btu.edu.tr](mailto:21278034025@btu.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1380584

**Abstract:** Li-ion batteries are a commonly used type of battery in various electronic devices and electric vehicles. The capacity of these batteries can decrease over time and affect the lifespan of the device. Therefore, predicting the capacity status of Li-ion batteries is important, there are several ways to estimate the SOC of a battery. When the literature was reviewed and relevant articles were examined, it was observed that artificial neural networks could be an effective tool for predicting the capacity status of Li-ion batteries. In this study, a study was conducted to predict the capacity status of Li-ion batteries using artificial neural networks. For this purpose, data collection, data preprocessing, and the use of artificial neural networks were carried out in stages for the prediction of the capacity status of Li-ion batteries. When the results obtained were examined, it was seen that artificial neural networks were able to correctly predict the capacity status of Li-ion batteries. The comparative analysis among various ANN models, including RNN, LSTM, and GRU highlights the superiority of GRU in performance, with RNN exhibiting comparable performance and LSTM lagging. These predictions can be used to extend the lifespan of Li-ion batteries and optimize the performance of the device. In addition, efforts such as expanding the data set and optimizing the network structure can be made to increase the accuracy of these predictions. This research presents an exemplary study of predicting Li-ion battery capacity using ANNs and has been successfully conducted using NASA datasets.

**Keywords:** Artificial Neural Network, Li-ion Battery, Battery Capacity Prediction, RNN, LSTM, GRU State of Capacity, SOC

### Yapay sinir ağları ile batarya kapasite durumu tahmini yapılması

**Özet:** Li-ion bataryalar, günümüzde çeşitli elektronik cihazlarda ve elektrikli araçlarda sıklıkla kullanılan batarya türlerindedir. Bu bataryaların kapasitesi zaman içinde azalabilmekte ve cihazların ömrünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle, Li-ion bataryaların kapasite durumunun tahmin edilmesi önemlidir ve bunu yapmanın birkaç yolu vardır. Literatürde ilgili makaleler incelendiğinde, yapay sinir ağlarının Li-ion bataryaların kapasite durumunu tahmin etmede etkili bir araç olabileceği görülmüştür. Bu çalışmada, yapay sinir ağları kullanarak Li-ion bataryaların kapasite durumunun tahmin edilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, veri toplama, veri ön işleme ve yapay sinir ağları kullanımı gibi adımlar izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yapay sinir ağlarının Li-ion bataryaların kapasite durumunu doğru bir şekilde tahmin edebildiği görülmüştür. RNN, LSTM ve GRU gibi çeşitli ANN modelleri arasındaki karşılaştırmalı analiz, GRU'nun performans açısından üstünlüğünü ortaya koymaktadır; RNN benzer bir performans sergilerken LSTM geride kalmaktadır. Bu tahminler, Li-ion bataryaların ömrünü uzatmak ve cihazın performansını optimize etmek için kullanılabilir. Ayrıca, bu tahminlerin doğruluğunu artırmak için veri setinin genişletilmesi ve ağ yapısının optimize edilmesi gibi çalışmalar da yapılabilir. Bu araştırma, Li-ion batarya kapasitesinin ANN'lerle tahmin edilmesine örnek bir çalışma sunmakta olup ve NASA veri setlerini kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Sinir Ağları, Li-ion Batarya, Batarya Kapasite Tahmini, RNN, LSTM, GRU, SOC

\* Corresponding author.

E-mail address: [21278034025@btu.edu.tr](mailto:21278034025@btu.edu.tr)

ORCID: 0000-0001-9770-5821, 0000-0001-5545-1456, 0000-0002-8915-000X (in hierarchical order)

Received 24.10.2023; Received in revised form 13.03.2024; Accepted 02.04.2024

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Introduction

Li-ion batteries are a subset of batteries that make use of the ability of lithium ions to store energy. Because of their small size, high energy density, and extended lifespan, these batteries are frequently chosen in electronic products and electric vehicles (Kim et al, 2019). Li-ion batteries also have the advantage of being rechargeable and not requiring high voltage when being charged. Making estimates about battery capacity allows for the optimization of device performance because the battery life of these batteries may shorten with time (Manoharan et al, 2022).

The importance of this battery type has expanded with the widespread usage of Li-ion batteries in electric vehicles and other electronic gadgets (Li et al, 2019). Predicting battery capacity is a significant field of research to increase battery life and improve device performance (Chau and Chan, 2007). By calculating the rate at which the battery capacity is decreasing, these projections can be used to evaluate battery performance while the device is in use (Ren et al, 2015). For instance, a cell phone battery's capacity degrades with time, and the rate of this degradation varies depending on the device. For cell phone users to evaluate battery performance, it is crucial to make forecasts about battery capacity (Schneider et al, 2017).

State of charge (SOC) is used to determine the battery's remaining capacity, and remaining battery capacity prediction is at the core of battery management systems (Dubarry et al, 2017). The capacity of the battery can be fully utilized, which enhances battery performance and reduces the risk of safety issues brought on by overcharging or over discharging the battery (Ng et al, 2020). For battery energy management and control, research on estimating remaining battery capacity is crucial. The link between the observable battery signals (voltage, current, temperature, etc.) and SOC is highly erratic and depends on temperature and charging/discharging current (How et al, 2019). SOC is not an observable number. The method of ampere-hour integration, which is frequently used to estimate SOC, has two fundamental problems that cause SOC prediction mistakes to grow with time: current measurement errors and SOC beginning value inaccuracies. Calibration tests are used to identify the relationship between OCV and SOC (Baccouche et al, 2017). The OCV approach is difficult to employ in real applications and has trouble guaranteeing measurement conditions during SOC prediction. It can only be used to SOC prediction as an auxiliary method (Cuma and Koroglu, 2015).

Modern machine learning technology is developing more quickly than ever before because of the constant improvement in computer speed and the expanding access to billions of data. Utilizing Artificial Neural Networks (ANN) for predicting the State of Charge (SOC) of lithium-ion batteries offers a potent solution owing to their capability to learn intricate patterns from large datasets.

To estimate the state of charge (SOC) of lithium-ion batteries, pure data-driven deep learning algorithms can be integrated with the huge quantity of operational data generated by lithium-ion batteries, such as voltage, current, and temperature (Hannan et al, 2017). Deep neural networks that process time-related sequences well include the Gated Recurrent Unit Neural Network (GRU), Long Short-Term Memory Network (LSTM), and Recurrent Neural Network (RNN). SOC fluctuates continually over time, making lithium-ion battery SOC estimate a prediction problem related to time series (Cui et al, 2022; Li et al, 2021)

For these factors, a broad explanation of the idea of artificial neural networks will be given, along with explanations of its sub-branches, such as GRU (Gated Recurrent Unit Neural Network), LSTM (Long Short-Term Memory Network), and RNN (Recurrent Neural Network).

This study, it is delved into the realm of battery capacity forecasting, focusing particularly on the utilization of artificial neural networks (ANNs) and their effectiveness in handling time-related information. Investigation encompasses a review of existing literature about battery capacity and ANNs, with a keen emphasis on methodologies optimized for temporal data processing. Furthermore, to assess the predictive capabilities of deep neural networks in forecasting the state of charge (SOC) of lithium-ion batteries, a practical ANN was developed.

Due to the general assumption in the reviewed articles, the pre-processing phase involved the random allocation of a dataset into 70% for training and 30% for testing.

For modeling endeavors, recurrent neural network (RNN), long short-term memory (LSTM), and gated recurrent unit (GRU) architectures were used within the ANN framework. Each model was structured with 5 layers and in each layer, 50 neurons were employed, with the activation function tanh utilized uniformly across all layers to facilitate performance comparison. Moreover, to optimize the models' performance, the Adam (Adaptive Moment Estimation) optimization algorithm is used, aimed at minimizing the loss function during training. Our novel approach in this study serves as a benchmark for other researchers utilizing the NASA dataset, enabling them to compare and evaluate the accuracy and efficacy of our methodology. The developed models underwent rigorous internal comparison, wherein their respective strengths and weaknesses are elucidated in the results section. By referencing the model, researchers embarking on similar endeavors can explore new avenues and foster the expansion of research within this domain.

## 2. Literature Review

A literature review has been conducted on the studies carried out in the field of battery capacity estimation using artificial neural networks.

Xueyan Yang et al. (2022) developed a TCN model using artificial neural networks based on 1-year real data. Using Arrhenius formula, they trained and tested the data set by considering variables such as temperature, charge/discharge rate and cycle time on battery capacity estimation. When trained and tested with other models (RNN, LSTM, GRU) and compared the test results, the method proposed by the authors was found to be successful.

However, they suggested that the model is data dependent, and that the success rate may be low in other vehicle data, and they suggested to work on learning transfer.

Tianyun Hao et al. (2022) developed a hybrid model using an artificial neural network model and a Kalman filter. Using an open-source dataset, the authors used a CCM-based Kalman filter with a time-varying CCM-based Kalman filter together with the trained dataset. According to 3 different driving models, they found that using FNN + Kalman filter performed better than the results obtained before using the model.

Alessandro Aliberti et al. (2022) trained and tested various artificial neural network models on NASA battery data set and compared their results. LSTM, GRU, CNN and hybrid models were used on the dataset, especially battery capacity, V, I and temperature values were considered. The best hyperparameters were determined on the Google Colab platform after sharing 90%-10% as training and test data. Using Adam as the optimization function, relu and tanh as activation functions, the authors determined 1D-CNN as the most successful model according to the test results. While LSTM was the model with the highest variance, the GRU model was very dependent on the training data, while the CNN-LSTM model predicted the battery health status without learning the training data.

Bowen Jiang, Yujing Liu and Junfei Tang (2022) propose a battery state of health (SOH) prediction structure by combining recurrent neural network and convolutional neural network. Using the NASA dataset as 70%-30% training and test data, the authors compare LSTM, RFNN, RCNN models. The proposed structure uses not only the cycle measurement but also the measurements and predictions from the previous two cycles for the health state prediction of the studied cycle. The results show that RCNN reduces the validation set loss by 31.5% and 18.8% compared to LSTM and RFNN, respectively.

Di Zhu et al. (2021) reviewed the studies conducted to create a research paper on batteries and identified the advantages and disadvantages of each neural network for battery health-capacity prediction and parameter identification. In the in-depth research, the error rates of RNN, MLP, MLP+BSA, MLP+ADAM, DBN+SWM algorithms and combinations were compared for SOC. For SOH, RNN, MLP, MLP+Autoencoder, MLP+MarkovChain, PNN algorithms and combinations were analyzed in the same way. As parameters, it was observed that voltage, current and temperature values generally played the main role. It was emphasized that algorithms that learn by repetition are more successful. They observed that the importance of historical data in online studies and data cleaning, reducing the size of the data and examining their correlations with each other and giving them as input to the



algorithm accordingly in studies with ready-made data sets that are not online increase the success in general.

Jacob c. Hamar et al. (2021), in a joint study conducted by the BMW Research Center and the University of Munich, estimated the battery health status using 2 artificial neural network methods with data obtained from 700 vehicles. They encountered 3.4% error in the semi-empirical model and 3% error in the artificial neural network model. They commented that the error rate will decrease as the number of data increases.

Yuanjun Guo et al. (2020) proposed the use of the JAYA optimization scheme for better tuning of neural network parameters when predicting battery capacity status in an energy system consisting of many batteries. Instead of using all features, the ones with the highest correlation with each other were selected and the RBF neural network model was trained and tested. Error rates were observed to be lower in the model optimized with Jaya.

In a 2020 study, Mengllong XU and colleagues develop a BPNN artificial neural network model with data from charging stations of smart bicycles. They train and test two different models with 20 and 100 neurons. While the BPNN model with 100 neurons has a 1% error rate with test data after a long training time, the model with 20 neurons stands out with a shorter training time. However, the test data with an error rate of 16% showed that the model failed. In addition, the authors made two different trials of the SWM algorithm and concluded that it is not suitable for this system with its high error rate.

Chao Lyu et al. (2020) used GRU, LSTM, RNN models for battery capacity prediction on a public dataset and compared their results. While the training time is considerably longer in GRU and LSTM compared to the RNN model, it is observed that RNN has the worst error rate. Although GRU and LSTM have similar error rates, GRU is one step ahead in time.

In their study, Carlos Vidal et al. (2019), since designing a traditional Kalman filter and then applying it to the battery is a serious task for each battery, they transferred the artificial neural network model and studied how it would work in another battery. Using the LSTM + RNN model, the researchers used data from 4 different batteries. In the training data set, while there were mixed data from driving cycles for each battery, 4 different neural network models were trained and tested in 4 different ways. First, the error rate on the test data was compared without model transfer, while in the second comparison, the other 3 models were trained again on the first models according to the battery and the test results were compared. In the third stage, the transferred models were trained and tested again on their own training data and the results were observed. In the last stage, all the data was mixed, and the transfer model was trained and tested on the test sets, and as a result, they reported that significant reductions in the error rate were observed. Overall, the study shows the advantages of transfer learning to reduce training time, improve SOC prediction accuracy and reduce the amount of training data required.

After reviewing the neural network articles in the field of battery capacity and health prediction, the purpose of the study, the methodology used, the contribution to the literature, the results obtained, and the recommendations of the study are presented in Table 1, Table 1.1, and Table 1.2. In our study on battery capacity prediction, Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), and Recurrent Neural Network (RNN) architectures were chosen due to their inherent advantages in sequence modelling tasks. In contrast to the examined studies, our experiment was distinguished by thoroughly assessing the performance of Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU), and Recurrent Neural Network (RNN) architectures in the same conditions, individually. LSTM, with its ability to retain long-term dependencies and mitigate the vanishing gradient problem, was deemed effective for capturing temporal dynamics in battery data. Similarly, GRU, offering a simplified architecture compared to LSTM while maintaining competitive performance, was found to be efficient for processing sequential data. RNN, although less complex, remained relevant for its simplicity and applicability in certain scenarios. The training and test data were separated with a split of 70%-30% to ensure adequate generalization while evaluating model performance.

A meticulous comparison was conducted across these recurrent neural network models, aiming to elucidate their respective strengths and weaknesses, particularly focusing on factors such as training

time and prediction accuracy. This approach enabled a focused and insightful analysis of LSTM, GRU, and RNN performance in battery capacity and health prediction tasks, contributing valuable insights to the field. Through this approach, contributions were aimed towards the development of more robust and transferable models for battery capacity and health prediction in diverse operational environments.

### **3. Material and Method**

#### **3.1. Method**

##### **3.1.1. Artificial Neural Networks**

Artificial neural networks (ANNs) are a machine learning method and are based on mathematical models that mimic natural nervous systems. ANNs consist of an input layer, several hidden layers, and an output layer (Malkoç, 2017).

The input layer provides data input to the network and the hidden layers process and send this data to the output layer. The output layer outputs the result of the data processed by the network. ANNs are shaped according to the data by changing the weights of the connections between the layers of the network during learning, and thus can make predictions in accordance with the data (Chitnis et al, 2018). ANNs can be used to solve a variety of problems, but they are most used in prediction problems such as classification and regression.

Today, artificial neural networks (ANNs) are used in many different fields. For example, they are used to process audio, image, and text data, they are used to solve prediction problems, and they are used to solve classification problems (Das and Behera, 2017). Artificial neural networks can be found in every field where neural network, i.e., the human brain, can be found. It can work in most areas that humans can do, and there will be more areas to work in the future (Jain et al, 1996). In the coming years, the areas of use of artificial neural networks will expand even further and the impact of this technology will increase even more. Although it is said that this will increase unemployment, it is emphasized that some professions will disappear, but new professions will come.

##### **3.1.2. Artificial Neural Networks Study Areas**

Artificial neural networks (ANNs) are used in many different fields. For example, they are used to process audio and video data. The ANNs used in these areas are usually of the Convolutional Neural Networks (CNN) type. In this way, spoken words can be predicted in voice recognition systems and objects in images can be identified in image recognition systems.

ANNs can also solve prediction problems. ANNs used in these areas are usually Fully Connected Neural Networks (FCNN). For example, a store can predict future sales by processing sales data, and a healthcare institution can predict disease by processing symptoms and data of patients.

**Table 1.** Summary information about the studies reviewed

<b>Author(s) Name(s) Year</b>	<b>Article Title</b>	<b>Aim of the Study</b>	<b>Method Used</b>	<b>Contribution to the Literature</b>	<b>Obtained Result</b>
Yang, X., Hu, J., Hu, G., & Guo, X. (2022)	Battery state of charge estimation using temporal convolutional network based on electric vehicles operating data	Battery capacity was estimated using the Arrhenius formula.	TCN RNN LSTM GRU	They enabled a new perspective on battery capacity estimation by taking chemical reactions into account.	The proposed method was found to be more successful than the existing methods.
Hao, T., Ding, J., & Tu, T. (2022).	A hybrid Kalman filter for SOC estimation of lithium-ion batteries	They developed a hybrid model consisting of a Kalman filter and an artificial neural network.	FNN Kalman Filter	It has been a reference model for the use of Kalman filters and artificial neural networks.	The hybrid model was found to be more successful than the simple pedestrian neural network model.
Aliberti, A., et al. (2022)	Comparative Analysis of Neural Networks Techniques for Lithium-ion Battery SOH Estimation	Models were trained and compared using the Nasa dataset.	LSTM GRU CNN	It has been a reference research for authors who will use the same data set.	The 1D- CNN model was the most successful.
Jiang, B., Liu, Y., & Tang, J. (2022)	Lithium-ion Battery State of Health Estimation with Recurrent Convolution Neural Networks	Recurrent neural network and convolutional neural network are combined to predict battery health.	RFNN LSTM RCNN	The proposed structure has been the reference research in the sense that it uses not only the loop measurement but also the measurements and predictions from the previous two cycles.	RCNN model made the most successful predictions.

**Table 1.1** Summary information about the studies reviewed

<b>Author(s) Name(s) Year</b>	<b>Article Title</b>	<b>Aim of the Study</b>	<b>Method Used</b>	<b>Contribution to the Literature</b>	<b>Obtained Result</b>
Zhu, D., Cho, G., & Campbell, J. J. (2021)	Neural Networks Battery Applications: A Review	They identified the advantages and disadvantages of each neural network for battery health- capacity prediction and parameter identification.	RNN, MLP, MLP+BSA, MLP+ADAM, DBN+SWM, MLP+Autoenc oder, MLP+Markov Chain, PNN	The study with various variations of repeated learner models has been a reference research.	The observed voltage, current and temperature values played the main role as parameters. It was emphasized that algorithms that learn by repetition are more successful.
Hamar, J. C., et al. (2021)	State-of- health estimation using a neural network trained on vehicle data	They tested real- life habitual data with semi- empirical and artificial neural networks.	Authors without model information used semi- supervised and artificial neural network models.	It has been a real-time study with data of reasonable value.	The neural network model predicted battery health better than the semi- empirical model.
Guo, Y., Yang, Z., Liu, K., Zhang, Y., & Feng, W. (2021)	A compact and optimized neural network approach for battery state of charge estimation of energy storage system	They aimed to improve the accuracy of the neural network using the Jaya optimization tool.	JAYA RBF	It has been a reference work for researchers working with optimization tools.	Error rates were lower in the model optimized with Jaya.



**Table 1.2** Summary information about the studies reviewed

<b>Author(s) Name(s) Year</b>	<b>Article Title</b>	<b>Aim of the Study</b>	<b>Method Used</b>	<b>Contribution to the Literature</b>	<b>Obtained Result</b>
Xu, M., Wu, W., Zhou, W., Ma, Y., Shi, X., & Li, J. (2020)	State of Charge Estimation of Low-speed Electric Vehicle Abttery using Back Propagation Neural Network	They studied the effect of the number of neurons when designing an artificial neural network model on the data of electric bicycles.	BPNN SWM	It has been a reference study for researchers working on the battery health status of smart bicycles.	In the designed model, the success rate of 20 neurons was not satisfactory, while the learning time was a problem in the system with 100 neurons.
Lyu, C., Han, Y., Guo, Q., Wang, L., & Song, Y. (2020)	State-of-Charge Estimation of Lithium-ion Batteries Based on Deep Neural Network	Models were trained and compared using an open-source dataset.	GRU LSTM RNN	It has been a reference for researchers who will use open source artificial neural network models.	The training time is considerably longer for GRU and LSTM compared to the RNN model, while RNN has the worst error rate.
Vidal, C., Kollmeyer, P., Chemali, E., & Emadi, A. (2019)	Li-Ion Battery State Of Charge Estimation Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network With Transfer Learning	After the training was completed, 4 different batteries were analyzed by transferring the model.	LSTM + RNN	Unlike the work on uniform batteries, there has been serious work on the transportation of learning.	All the data was mixed, the transfer model was trained and tested on test sets, and as a result, they reported significant reductions in the error rate.

ANNs can also solve classification problems. ANNs used in these areas are usually of the FCNN type. For example, when classifying products on an e-commerce site, the category to which the products belong can be predicted, and a bank can predict the credit risks of customers by processing customer data.

These are just a few examples of applications, and the uses of neural networks are much broader. In the coming years, the uses of artificial neural networks will expand even further, and the impact of this technology will increase even more.

### 3.2. Material

#### 3.2.1. Lithium-Ion Batteries

Lithium-ion batteries (Li-ion) are high energy density batteries that work by transporting lithium ions with their electronic charge. This means that a Li-ion battery of the same weight and volume can store more energy and run longer.

Li-ion batteries generally last longer than other battery types and can be recharged. For this reason, Li-ion batteries are often preferred for applications such as electronic devices and electric vehicles. To prolong the life of Li-ion batteries, it is important to use correct charging and discharging techniques.

In addition, since the operating temperature range of Li-ion batteries is narrow, temperature conditions can also have an impact on battery life (Blomgren, 2016).

### 3.2.2. Usage Areas of Lithium-Ion Batteries

Lithium-ion batteries are used in many different fields due to their diverse design and high energy density. Most commonly, these batteries are used for electronic devices, electric vehicles, and hybrid electric vehicles. They are also used for lightweight vehicles such as electric bicycles, scooters, and electric cars (Lu et al, 2013).

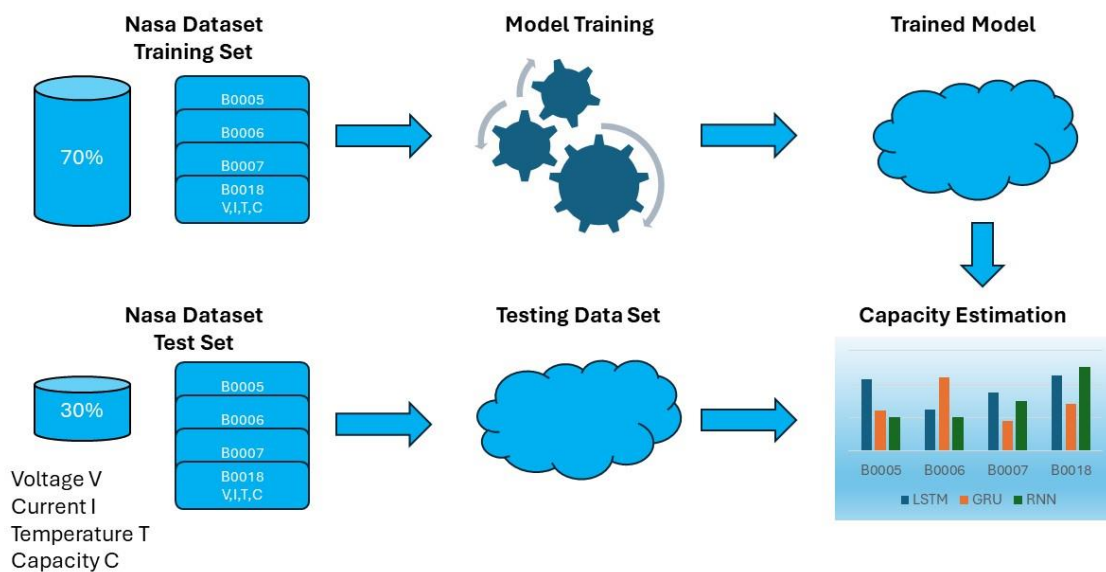
Lithium-ion batteries are also used for solar panel systems, home automation systems and other energy storage systems. For example, solar panel systems use lithium-ion batteries to store energy generated during the day and make it available at night or in cloudy weather. Home automation systems use lithium-ion batteries to save energy in the home and automatically adjust the home's temperature and lighting.

Lithium-ion batteries are also used for power generation systems in remote areas. For example, wind turbines and solar panel systems use lithium-ion batteries to store the energy generated and make it available for later use. In this way, people in remote areas can also benefit from the use of electrical energy (Kim et al, 2019).

As a result, lithium-ion batteries are very versatile and have a wide range of uses. They are used in many different fields such as electronic devices, electric vehicles, energy storage systems, militaristic applications, and aerospace sectors. Lithium-ion batteries have advantages over other battery types due to their high energy density, light weight, long life, and wide operating temperature range (Wu et al, 2022).

## 4. Application

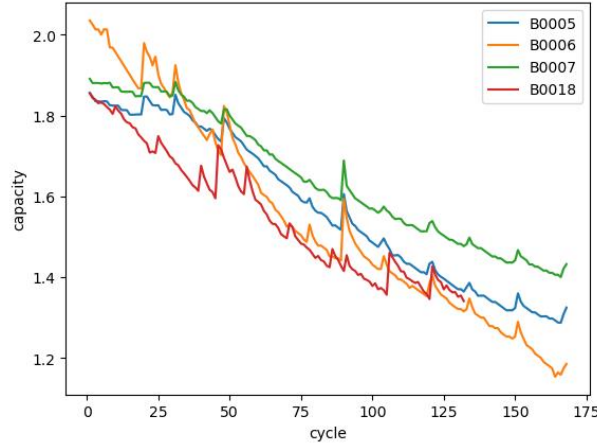
Five steps were followed in the implementation process. First, an open-source NASA data set was created, second, the necessary data pre-processing operations were performed, third, models were created using artificial neural network algorithms, fourth, model results were compared, and finally, the models were tested with test data from outside the training data set. The schematic of training and test data sets and capacity estimation with LSTM, GRU and RNN models is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Implementation process of LSTM, GRU and RNN models

#### 4.1. Data Set

Open-source data set was used for the data set. For this, the dataset available on the NASA website was used (Saha and Goebel, 2007). There are 28 different battery types in this data set. Batteries numbered 5-6-7 and 18 were selected. There are 50285 lines of data for the first 3 batteries and 34866 lines of data for battery number B0018. The features are listed as number of cycles, ambient temperature, date, capacity, voltage, current, battery temperature, current load, voltage load and duration. The capacity and cycle information of the data sets are visualized below in the Figure 2.



**Figure 2.** Capacity/Cycle for Each Battery

#### 4.2. Data Pre-Processing

When the unique rows in the data set are checked, there are 50285 rows. Duplicate rows are removed from the data set to prevent the algorithms from memorizing. Since the open-source data is presented as .mat file, firstly, the conversion to .csv format was done using Python language for faster processing.

#### 4.3. Modelling

The pre-processed data set was randomly allocated to be used as 70% training data and 30% test data. RNN, LSTM and GRU structure from artificial neural network algorithms were used in the modelling process.

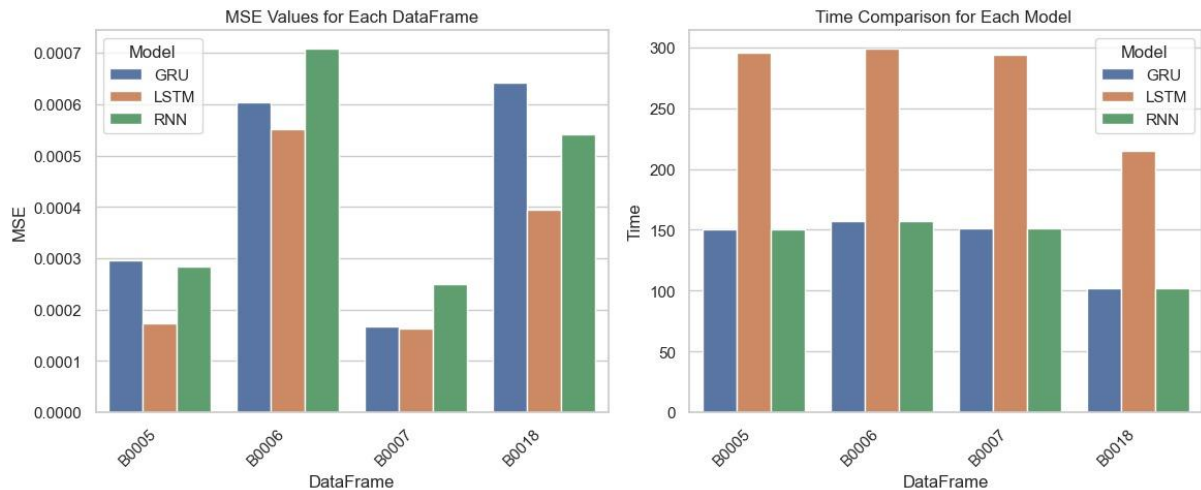
Each model consists of 5 layers and tanh was used as the activation function of each model for performance comparison. Each layer contains 50 neurons and dropout method is used to help the model learn better by reducing the tendency of overfitting the weight coefficients. Adam (Adaptive Moment Estimation) optimization algorithm was used to minimize the loss function of the models.

#### 4.4. Comparison of Results

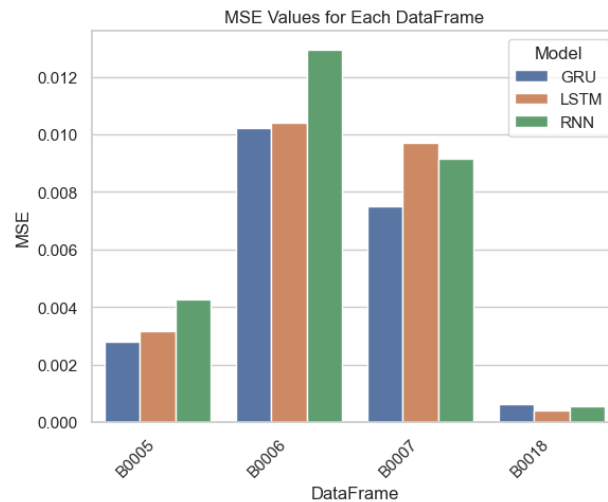
When we look at the performance data we obtained from the validation data in the training data, we see that the battery belonging to the B0007 dataset has the most successful results in all models, followed by another successful battery B0005 in the Figure 3. Although the other two batteries have relatively lower performance, the mean squared error values of each model are very low. When we examine the training times of the models, we observe that the LSTM model is by far the lowest performing model in all data sets. Although the GRU and RNN models seem to perform very close to each other, the RNN model completed the training period in a shorter time by a very small margin. When we look at the performance of the trained models on the test data, battery B0018 was the most successful in contrast to the training data, followed by battery B0005 in the Figure 4. When we look at the training and test data in general, it is seen that battery B0006 gives the most unsuccessful results of the models.

#### 4.5. Applicability of Models

According to the results, it is foreseen that it will be difficult to make a clear comment on the applicability of the models. Because it has been observed that depending on the characteristics of the data and the purposes of use, which model will perform better may change. However, in general, these results show that the LSTM model may perform less than the other models in some cases, but the RNN model has a faster training time.



**Figure 3.** MSE Values for Each Data Frame & Time Comparison for Each Model



**Figure 4.** Trained Model MSE Values for Each Data Frame

#### 5. Conclusion

In this study, the concept of artificial neural networks in battery capacity estimation and the literature review of the studies conducted in this field are reviewed. With the increasing interest in electric and autonomous vehicles in recent years, the concept of artificial neural networks has an important place in research and development studies in this field. To develop accurate and effective models in the studies to be carried out, a database infrastructure should be created according to the battery models.

When we examine the studies, it is seen that effective models are RNN, LSTM, GRU, FNN and CNN artificial neural networks. For this reason, RNN, GRU and LSTM models were selected within the scope of the study and the tests performed on the relevant data set were compared. While GRU was the most successful model in terms of performance, the RNN model was ahead of the GRU model with a very small difference in training time. The LSTM model was observed as the least successful model in both scales.



When the model was checked with the test data not included in the dataset after the model run was completed, while the results of the validation data were parallel to the results of the validation data in batteries B0005 and B0006, better results were obtained in battery B0018, and worse results were obtained in battery B0007 compared to the validation data. As a result, it is predicted that artificial neural networks will remain popular today and will increase soon with the increasing use of artificial neural networks in predicting battery capacity status and the number of stored data positively affecting the performance of artificial neural networks.

In comparing the experiment results with the literature review on battery capacity estimation using artificial neural networks, several similarities and differences are observed. Firstly, recurrent neural network architectures, specifically RNN, LSTM, and GRU, were utilized, aligning with existing research known for their efficacy in sequence modelling tasks. This choice reflects a common trend observed in the literature, where these architectures have been demonstrated to successfully capture temporal dynamics in battery data.

Similarly, the evaluation methodology, including the split of training and test data, mirrors practices adopted in several reviewed studies, ensuring adequate generalization and robust model assessment. Moreover, findings resonate with prior research, showcasing GRU as the most successful model in terms of performance, consistent with the observed competitive performance of GRU in battery capacity prediction tasks. However, nuances not extensively explored in the literature are highlighted, such as variations in model performance across different battery datasets. While results show comparable performance to the literature in certain datasets, discrepancies are noted, particularly in battery B0007, indicating potential challenges in generalizing model performance across diverse battery types.

Overall, valuable insights are contributed by the experiment by reaffirming the efficacy of recurrent neural network architectures in battery capacity estimation while also shedding light on the need for further investigation into the generalizability of these models across varying battery characteristics. For future investigation, it is recommended to explore Transfer learning methodologies in ANN, which could potentially enhance model generalization across various battery datasets.

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

Prof. Dr. Musa Aydın: Research design, creation of theoretical framework.

Assoc. Prof. Dr. Hasan Sahin: Critical review.

Ms. Student Ismail Kılıç: Data collection, data analysis, literature review, text writing, and visualization of results.

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

This research has not received any specific grant, funding, or support from any public, commercial, or non-profit sector funding organization.

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

The authors declare that they have no financial or non-financial interests in the subject matter or materials discussed in this article.

#### **References**

- Aliberti, A., et al.** (2022). Comparative Analysis of Neural Networks Techniques for Lithium-ion Battery SOH Estimation. 2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), 1355–1361. doi: 10.1109/COMPSAC54236.2022.00214.
- Baccouche, I., Jemmali, S., Manai, B., Omar, N., & Amara, N.** (2017). Improved OCV model of a li-ion NMC battery for online SOC estimation using the extended Kalman filter. *Energies*, 10(6), 764.
- Blomgren, G. E.** (2016). The development and future of lithium-ion batteries. *J. Electrochem. Soc.*, 164(1), A5019.

- Chau, K. T., & Chan, C. C. (2007).** Emerging energy-efficient technologies for hybrid electric vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 821–835. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2006.890114>
- Chitnis, M. S., Pandit, S. P., & Shaikh, M. N. (2018).** Electric Vehicle Li-Ion Battery State of Charge Estimation Using Artificial Neural Network. *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 992-995. doi: 10.1109/ICIRCA.2018.8597234.
- Cui, Z., Wang, L., Li, Q., Wang, K., et al. (2022).** A comprehensive review on the state of charge estimation for lithium-ion battery based on neural network. *Int. J. Energy Res.*, 46(5), 5423–5440.
- Cuma, M.U., & Koroglu, T. (2015).** A comprehensive review on estimation strategies used in hybrid and battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 517–531. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.047>.
- Das, K., Behera, R. N. (2017).** A survey on machine learning: concept, algorithms and applications. *Int. J. Innovat. Res. Comput. Commun. Eng.*, 5(2), 1301e1309.
- Dubarry, M., Baure, G., & Anseán, D. (2020).** Perspective on state-of-health determination in lithium-ion batteries. *J. Electrochem. Energy Convers. Storage*, 17(4).
- Guo, Y., Yang, Z., Liu, K., Zhang, Y., & Feng, W. (2021).** A compact and optimized neural network approach for battery state-of-charge estimation of energy storage system. *Energy*, 219, 119529. doi: 10.1016/J.ENERGY.2020.119529.
- Hamar, J. C., et al. (2021).** State-of-health estimation using a neural network trained on vehicle data. *J Power Sources*, 512, 230493. doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2021.230493.
- Hannan, M. A., Lipu, M. S. H., Hussain, A., & Mohamed, A. (2017).** A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 78, 834–854.
- Hao, T., Ding, J., & Tu, T. (2022).** A hybrid Kalman filter for SOC estimation of lithium-ion batteries. *41st Chinese Control Conference (CCC)*, 5222–5227. doi: 10.23919/CCC55666.2022.9901537.
- How, D. N., Hannan, M., Lipu, M. H., & Ker, P. J. (2019).** State of charge estimation for lithium-ion batteries using model-based and data-driven methods: A review. *IEEE Access*, 7, 136116–136136.
- Jain, A. K., Mao, J., & Mohiuddin, K. M. (1996).** Artificial neural networks: a tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44. doi: 10.1109/2.485891.
- Jiang, B., Liu, Y., & Tang, J. (2022).** Lithium-ion battery state of health estimation with recurrent convolution neural networks. *11th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2022)*, 479–484. doi: 10.1049/icp.2022.1097.
- Kim, T., Song, W., Son, D.-Y., Ono, L. K., & Qi, Y. (2019).** Lithium-ion batteries: Outlook on present, future, and hybridized technologies. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2942–2964.
- Li, S., Ju, C., Li, J., Fang, R., Tao, Z., Li, B., & Zhang, T. (2021).** State-of-charge estimation of lithium-ion batteries in the battery degradation process based on recurrent neural network. *Energies*, 14(2), 306.
- Li, Y., et al. (2019).** Data-driven health estimation and lifetime prediction of lithium-ion batteries: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 113, 109254.
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013).** A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288.
- Lyu, C., Han, Y., Guo, Q., Wang, L., & Song, Y. (2020).** State-of-Charge Estimation of Lithium-ion Batteries Based on Deep Neural Network. *2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Shanghai)*, 1–7. doi: 10.1109/PHM-Shanghai49105.2020.9280940.
- Malkoç, H. C. (2017).** Lityum Tabanlı Bataryaların Ömür Tahmini için Bir Model Geliştirme. (Master's Thesis) Gebze Technical University, Institute of Science, Kocaeli.

- Manoharan, A., et al.** (2022). Artificial Neural Networks, gradient boosting and support vector machines for Electric Vehicle Battery State Estimation: A Review. *Journal of Energy Storage*, 55, 105384. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105384>
- Ng, M.-F., Zhao, J., Yan, Q., Conduit, G. J., & Seh, Z. W.** (2020). Author correction: Predicting the state of charge and health of batteries using data-driven machine learning. *Nature Mach. Intell.*, 2, 1–10.
- Ren, G., Ma, G., & Cong, N.** (2015). Review of electrical energy storage system for vehicular applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 225-236.
- Saha, B., & Goebel, K.** (2007). Battery Data Set. NASA Ames Prognostics Data Repository (<http://ti.arc.nasa.gov/project/prognostic-data-repository>), NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- Schneider, E. L., Dresch, R. F. V., Brito, R. M., & Loureiro, L. T. R.** (2017). Analysis Method of Mobile Phone Batteries Remaining State of Charge. *IEEE Latin America Transactions*, 15(5), 854-860. doi: 10.1109/TLA.2017.7910198.
- Vidal, C., Kollmeyer, P., Chemali, E., & Emadi, A.** (2019). Li-ion Battery State of Charge Estimation Using Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network with Transfer Learning. 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 1–6. doi: 10.1109/ITEC.2019.8790543.
- Wu, F., Chu, F., & Xue, Z.** (2022). Lithium-Ion Batteries. *Encyclopedia of Energy Storage: Volume 1-4*, 1–4, 5–13. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00102-5>
- Xu, M., Wu, W., Zhou, W., Ma, Y., Shi, X., & Li, J.** (2020). State of Charge Estimation of Low-speed Electric Vehicle Battery using Back Propagation Neural Network. 2020 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCLOUD/SocialCom/SustainCom), 1438–1443. doi: 10.1109/ISPA-BDCLOUD-SocialCom-SustainCom51426.2020.00215.
- Yang, X., Hu, J., Hu, G., & Guo, X.** (2022). Battery state of charge estimation using temporal convolutional network based on electric vehicles operating data. *J Energy Storage*, 55, 105820. doi: 10.1016/J.EST.2022.105820.
- Zhu, D., Cho, G., & Campbell, J. J.** (2021). Neural Networks Battery Applications: A Review. 2021 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 1–8. doi: 10.1109/EIT51626.2021.9491835.

## Research Article

# The Impact of Innovative Transportation Services on Travel Behaviors: A Case Study of Istanbul

Mehmet Yazıcı<sup>1,\*</sup>, Yavuz Delice<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Department of Transportation Engineering, Institute of Graduate Studies, Yalova University, Yalova, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering, Yalova University, Yalova, Türkiye

\*Correspondence: [mehmet\\_yzci@outlook.com](mailto:mehmet_yzci@outlook.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1401005

**Abstract:** There has been a paradigm shift in urban mobility by the developments in information and communication technologies, zero-emission targets in transport. Hence, traditional transportation services are replaced by sustainable, shared, smart, innovative mobility services. In our country's cities, the increasing use of these services, rather than merely serving as an alternative mode of transportation, holds the potential to become an integral part of the city's main transportation system. Understanding the extent to which these services impact individuals' travel behaviors and daily activity choices is crucial for being aware of trends in urban mobility, as well as passenger and freight mobility. This study investigates the impact of innovative mobility services, including micromobility services and vehicle and ride-sharing services in Istanbul, on individuals' travel behaviors, the relationship between individuals' demographic and socioeconomic statuses and their preference for innovative transportation services, and the conditions under which the adoption of these services is higher. Within the scope of this research, a survey was conducted with a sample of 404 individuals in Istanbul, and the survey results were interpreted using descriptive analysis methods and the chi-square independence test as a statistical method. The study provides insights into how individuals' demographic characteristics and travel behaviors relate to the use of innovative transportation services, the effect of these services on the number of trips made by individuals, which types of transportation are replaced by these services, under what circumstances they are preferred or not preferred, and under which conditions those who do not use these services might consider using them.

**Keywords:** Travel behavior, urban mobility, new mobility services, mobility

## Yenilikçi Ulaşım Hizmetlerinin Seyahat Davranışlarına Etkisi: İstanbul Örneği

**Özet:** Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, ulaşım odaklı emisyonların azaltılmasına yönelik sıfır emisyon hedefleri etrafında kent içi ulaşımında bir paradigma değişikliği gözlenmekte olup; geleneksel ulaşım hizmetlerinin yerini sürdürülebilir, paylaşımlı, akıllı, yenilikçi hareketlilik hizmetleri almaktadır. Ülkemiz kentlerinde kullanımı git gide artan ve kişilere alternatif bir ulaşım türü olarak hizmet vermekten ziyade kentin ana ulaşım sisteminin bir parçası haline gelme potansiyeline sahip bu hizmetlerin kişilerin seyahat davranışlarına, günlük aktivite tercihlerine ne ölçüde etki ettiğini anlamak kent içi ulaşımındaki eğilimlerin, yolcu ve yük hareketliliğinin farkında olmak açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma ile yenilikçi hareketlilik hizmetleri kapsamında İstanbul'da kullanılan mikromobilité hizmetleri, araç ve sürüş paylaşım hizmetlerinin (1) kişilerin seyahat davranışlarına etkisi (2) kişilerin demografik, sosyoekonomik durumları ile tercih ettikleri yenilikçi ulaşım hizmetleri arasındaki ilişki (3) bu hizmetlerin benimsenmesinin daha yüksek olduğu koşullar çerçevesinde incelenmiştir. Çalışma kapsamında İstanbul'da 404 kişilik bir örnekleme anket yapılmış ve anket sonuçları açıklayıcı analiz yöntemleri ve istatistiksel yöntem olarak ki-kare bağımsızlık testi kullanılarak yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda kişilerin demografik özellikleri, seyahat davranışları ile yenilikçi ulaşım hizmetlerinin kullanımı, bu hizmetlerin kişilerin yolculuk sayısına etkisi, hangi ulaşım türlerinin yerini aldığı, hangi şart ve koşullarda tercih edilirken, hangi gerekçelerle tercih edilmediği ve bu hizmeti kullanmayanların hangi durumlarda bu hizmeti kullanabileceği gibi sorulara cevap verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Seyahat davranışı, kentsel hareketlilik, yenilikçi ulaşım hizmetleri, mobilité

\* Corresponding author.

E-mail address: [mehmet\\_yzci@outlook.com](mailto:mehmet_yzci@outlook.com)

ORCID: 0000-0003-4230-7193; 0000-0002-2646-567X

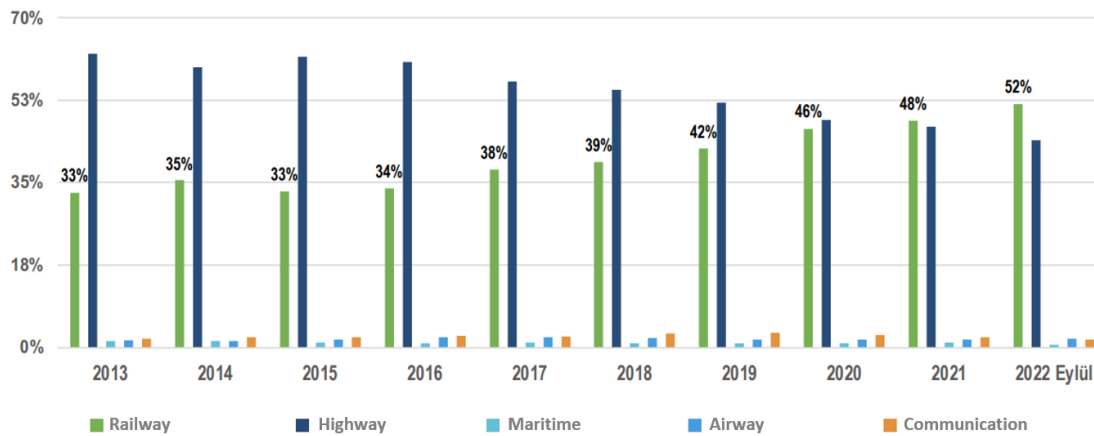
Received 06.10.2023; Received in revised form 20.03.2024; Accepted 15.04.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY NC 4.0.



## 1. Introduction

In an era characterized by rapid technological evolution, urban mobility services are undergoing significant development and transformation. Historically, travel involved various modes including animal riding, which has now been superseded by more comfortable, rapid, and innovative mobility services. Examining the evolution of transportation services in Turkey reveals that until the 1950s, railway transportation received priority in investment strategies. However, beginning in that decade, with the influence of the Marshall Plan on road transportation and the concurrent establishment of the General Directorate of Highways, a marked shift towards road transportation investments emerged. The initial objectives of the General Directorate of Highways, founded in 1950, encompassed ensuring year-round navigability of roads, implementing asphalt surfacing, and enhancing accessibility between communities to unlock previously inaccessible resources. Nonetheless, from 1985 onwards, the focus shifted towards facilitating more comfortable and safe intercity travel via the construction of motorways, subsequently divided highways, and, post-2013, the introduction of smart roads and mega transportation projects (KGM, 2020). Consequently, while railways complemented highways in the 1950s, highways have now ascended to the primary mode of transportation, receiving support from various other transport means. Entering the 2020s, it is observable that while road transportation investment is moderating, railway investments have surged. Figure 1, depicting the sectoral investment distribution by the Ministry of Transport and Infrastructure, Republic of Turkey, from 2013 to 2022, illustrates an increase in the railway investment share from 33% to 52%, substantiating the aforementioned thesis (UAB, 2022).



**Figure 1.** The sectoral distribution of investments between 2013 and 2022 by the Ministry of Transportation and Infrastructure

The transformation of intercity transportation services in Turkey mirrors changes observed in urban mobility. Delving into the historical backdrop of urban mobility in Istanbul reveals that the Istanbul Electric Tramway and Tunnel (IETT) commenced operations in 1869, followed shortly by the introduction of horse-drawn trams in 1871. By 1875, the Karakoy-Beyoglu tunnel, the world's second-oldest subway, was operational (IETT, 2022). A review of public transportation services in Istanbul over the years showcases the evolution from horse-drawn trams to modern buses, driverless metros, and trams as stark indicators of this development. Istanbul's transportation history is marked by continual hosting of new mobility services and innovations, a trend persisting through the years. Notably, Istanbul was the site of one of the world's earliest subways in 1875, and today, it pioneers in introducing new mobility services such as individual and shared micromobility services, vehicle sharing, and ride-sharing services, the impacts of which on urban mobility and individual travel behaviors are burgeoning research topics.

The array of new mobility services in Istanbul includes shared bicycles, mopeds, and scooters, encompassed within shared micromobility services. The management of shared bicycles falls under the Istanbul Metropolitan Municipality, while shared scooters and mopeds are overseen by private entities. Key players in Istanbul's vehicle sharing systems include Moov Car Rental, TikTak Car Rental, YOYO

Car Rental, and Ziptrip Car Rental applications (Kiralama, 2022), distinguished by offering not just daily rentals and fixed pick-up/drop-off points but also hourly rentals and flexible locations. The burgeoning vehicle sharing sector is exemplified by Moov, which reported over 100,000 users and 2 million rentals within two years of operation, highlighting the sector's growth potential in Turkey (Moov, 2022). In the realm of ride-sharing, BlaBlaCar stands out as a globally and locally popular service, matching vehicle owners and passengers for shared journeys, thus optimizing vehicle occupancy, reducing the number of vehicles on roads, and contributing to lower carbon emissions. Despite facing initial legal challenges, the urban model of this ride-sharing concept was introduced in Istanbul in October 2022 by Martı, a scooter service provider, eventually overcoming access restrictions (Martı, 2023). These developments underscore the significance of evaluating the influence of such applications on user travel choices and the overall transportation ecosystem.

As previously mentioned, in Istanbul, the daily increasing use of services, which are transitioning from serving merely as an alternative mode of transportation to potentially becoming a fundamental component of the city's main transportation infrastructure, necessitates an understanding of how these services influence the travel behaviors and daily activity preferences of Istanbul residents. Recognizing the impact of these services is crucial for grasping urban transportation trends and the dynamics of passenger and freight mobility. This study investigates new mobility services such as micromobility, car, and ride-sharing services utilized in Istanbul within the framework of their impact on travel behavior, the relationship between individuals' demographic, socioeconomic status, and their use of new transportation services, and the conditions that foster higher adoption rates of these services.

This research comprises five sections. The Introduction outlines the study's background, provides general information, and sets the overall framework and the questions that the study seeks to answer. Following the introduction, a Literature Review on the impact of innovative mobility services on travel preferences is conducted. The Data and Methodology section describes the data collection methods and statistical analysis techniques employed in the study. In the Results section, both exploratory analyses and chi-square independence test results are presented. The Conclusion evaluates the study's outcomes and offers recommendations for future research.

## **2. The Impact of New Mobility Services on Travel Preferences**

New Mobility Services are poised to significantly decrease transportation-related emissions and the necessity for personal vehicle ownership. McKinsey report highlighted that in Munich, Germany, micro-mobility journeys, representing a mere fraction under 0.1% of total trips in 2019, are forecasted to surge to 250 million by 2030, accounting for about 8% to 10% of all Munich trips in that year (Heineke et al., 2019). According to the 2021 European Shared Mobility Index by Fluctuo, which drew on data from 16 significant European cities, there was a notable increase in shared mobility usage: station-based shared bicycles grew by only 0.5%, while free-floating bicycle usage saw a 32% increase, shared scooters by 124%, shared mopeds by 38%, and shared cars by 11% (Fluctuo, 2021).

In Turkey, recent years have marked a rise in the adoption of car-sharing, ride-sharing, and shared micro-mobility services. For instance, MOOV by Garenta, a car-sharing service in Turkey, reported over 100,000 active users and 2 million vehicle rentals within its first two years. They also noted that 69% of car rentals during the COVID-19 pandemic were for commuting purposes (Moov, 2022). The scooter rental service launched in Istanbul by Martı in February 2019 has expanded, with over 20 companies offering services in 27 Turkish cities over three years. BlaBlaCar, offering ride-sharing services in Turkey and 22 other countries, announced it had reached 100 million users by the end of 2021 (Blablacar, 2022). These novel transportation solutions are increasingly becoming primary travel options in urban settings, as opposed to mere alternatives.

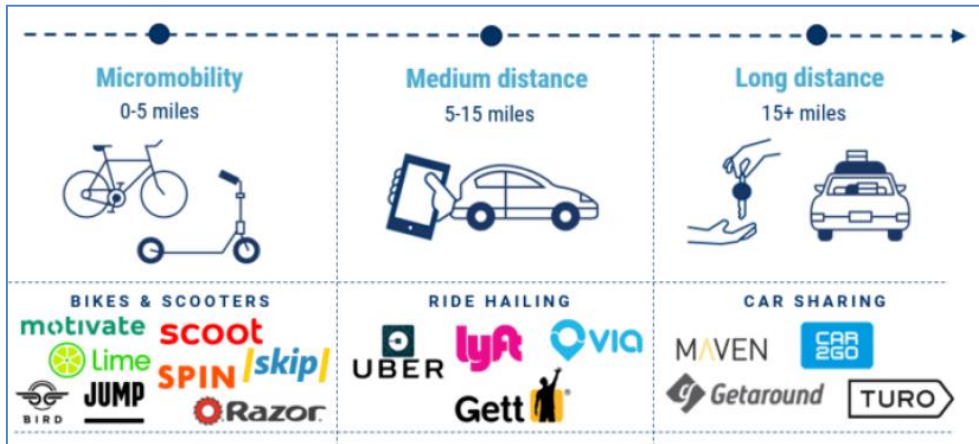
Literature is abundant with studies examining the impacts of these new mobility services on travel choices. Sengül (2021) delved into e-micromobility's role within the transportation ecosystem of Istanbul, focusing on its effects on travel habits, energy use, environmental impacts, safety, and regulation, benchmarking findings against other relevant studies. A survey of 240 individuals in Istanbul revealed that 60% favored e-scooters over walking for short trips, and 62% utilized these services for leisure activities. The study employed the student's t-test to analyze gender differences in

e-scooter usage. Research in Riyadh, Saudi Arabia, assessed the viability of an e-scooter sharing scheme as a new micromobility option, finding that ride-hailing service users were more inclined to adopt e-scooters. The study identified inadequate infrastructure, adverse weather conditions, and safety concerns as the primary hurdles to e-scooter implementation in Riyadh, with logistic regression analysis highlighting the significant roles of gender, age, and ride-hailing usage in willingness to use e-scooters (Almannaa et al., 2021). A Belgrade case study investigated e-scooter users' travel behaviors and their readiness to switch to alternative e-scooter options under different hypothetical scenarios. The study aimed to uncover determinants of such transitions, with infrastructure availability being a key factor. Surveys involving 1143 participants were analyzed using descriptive statistics, the McNemar–Bowker test, and multinomial logistic regression, showing a strong preference for e-scooters, especially for commutes to work or school, given dedicated infrastructure. Consistent with previous research, environmental benefits, congestion reduction, cost savings, and shorter travel times were identified as the most influential factors encouraging e-scooter adoption (Glavic, 2021). Another research examined the effects of e-scooters on modal shifts, land use, and the rental process, offering insights into rental pricing strategies based on survey data, indicating that studies on e-scooters and modal shifts predominantly rely on survey-based research (Glavic et al., 2023).

In a study examining the differences and characteristics of travel behaviors among users of e-bike sharing systems and e-scooter sharing systems in Tricity, Poland, it was found that individuals utilizing e-scooter sharing systems tend to be younger than those who use e-bikes. It was also observed that men prefer these services more than women, and while e-bikes are more frequently used for commuting to work, e-scooters are predominantly used for leisure purposes. Additionally, the study explored reasons for non-use among individuals, finding that non-users of e-scooters cited high costs, availability issues (insufficient number of scooters in the right locations or complete absence), and safety concerns as their main reasons for not using the service. On the other hand, non-users of e-bikes pointed to the lack of sufficient bicycles, ownership of personal bicycles, and the perceived lack of durability of the bikes as their reasons for not opting for this service (Bieliński and Wazna, 2020). A further case study conducted in Toronto and selected Canadian neighborhoods explored the socio-demographic, attitudinal, and built environment attributes among potential users of shared e-scooters. Findings reveal that 21% of respondents expressed willingness to contemplate e-scooters for certain current journeys, with the majority intending to substitute their present walking (60%) and public transit (55%) trips with shared e-scooters. Additionally, no discernible disparity in e-scooter preferences was noted between urban and suburban areas (Mitra and Hess, 2021). The findings of the research conducted by Mehzabin Tuli et al found that places in densely populated regions characterized by higher median income levels, diverse land utilization, abundant parks and open areas, public bicycle sharing facilities, increased parking rates, and reduced incidences of criminal activity generate more e-scooter trips. On the other hand, the outcomes derived from the model estimation indicate that travel purpose, travel modality, and time allocation significantly impact the trend to use shared dockless e-scooter services. Furthermore, these effects are subject to variations contingent upon socio-demographic attributes (e.g., years of advertising exposure) and contentment with prevailing public transportation modalities (Lee et al, 2021)

When examining the studies in the literature related to car-sharing services, a study investigating the impact of car-sharing services on individuals' car ownership was conducted with over ten thousand individuals in 11 different European countries. The research results revealed that in Copenhagen (followed by Rome, Hamburg, and London), one shared car in the car-sharing system replaces approximately 20 car trips, which is about twice as much as the city with the lowest number of shared cars, Madrid. Additionally, the presence of car-sharing services shows that the main non-city-specific factor influencing the non-use of private cars is the frequency of service usage (Jochem et al., 2020). In the literature regarding ride-sharing services, there are studies examining the effects of these services on travel preferences and travel frequency. Yu et al. (2017) evaluated the direct and indirect environmental benefits of ride-sharing and stated that from a long-term perspective, changes in travel preferences triggered by ride-sharing contribute significantly to emission reductions. Findings from an empirical study conducted in Beijing, China, indicate that ride-sharing services can encourage individuals to reduce private car usage and alter their decisions regarding purchasing new vehicles (Tang et al., 2020). Furthermore, shared scooters can be considered a significant alternative to private

car travel in the transformation process that started with car rentals. As illustrated in Figure 2, shared micro-mobility services are highlighted as an alternative to private car travel for short-distance trips, car-sharing for medium-distance trips, and peer-to-peer car-sharing services for long-distance journeys.

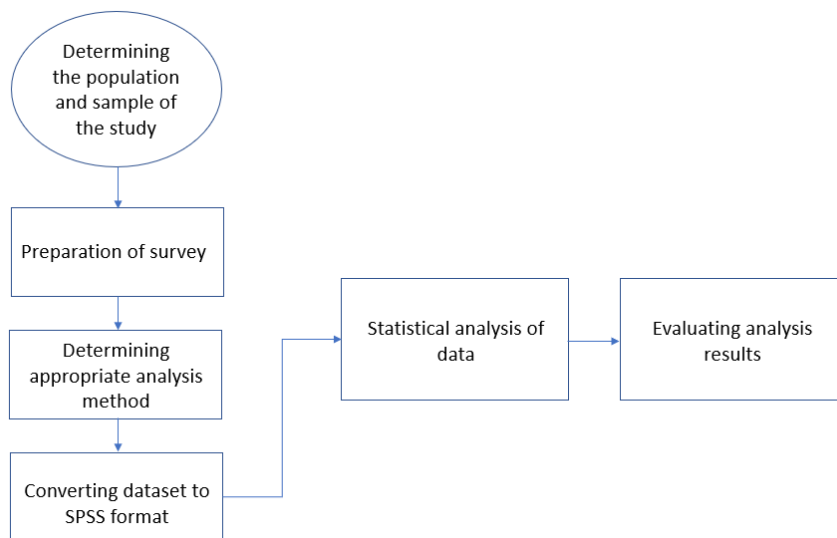


**Figure 2.** Alternatives to private vehicle travel for Short, Medium, and Long-Distance Journeys (Cbinsights, 2022).

In the United States, trips within the range of 0-5 miles account for 60% of total travel, while trips between 5-15 miles constitute 25% of total travel, and trips of 15 miles or more make up 15% of total travel. This situation suggests that even a shift towards shared micro-mobility services for car trips within the 0-5 mile range alone could result in a significant reduction in car travel, hence reducing traffic and carbon emissions.

### 3. Data and Method

To collect data for this research, a survey was conducted using Google Forms with a sample of 404 individuals residing in Istanbul. The determination of the research population and sample was an initial step before the development of survey questions. The methodology for calculating the sample size is detailed in Section 3.1, which outlines the rationale behind the chosen research methodology for this study. A more in-depth discussion on this subject is provided in Section 3.2. Following this, the survey questions were devised by examining studies in the existing literature that are similar in nature and aligning them with the aims of this research. Upon achieving the predetermined sample size, the chi-square independence test was identified as the suitable method for analyzing the collected survey data, which was processed using SPSS software. The outcomes of this analysis were then interpreted to extract insights pertinent to the research objectives. The procedural flow of the research is depicted in Figure 3.

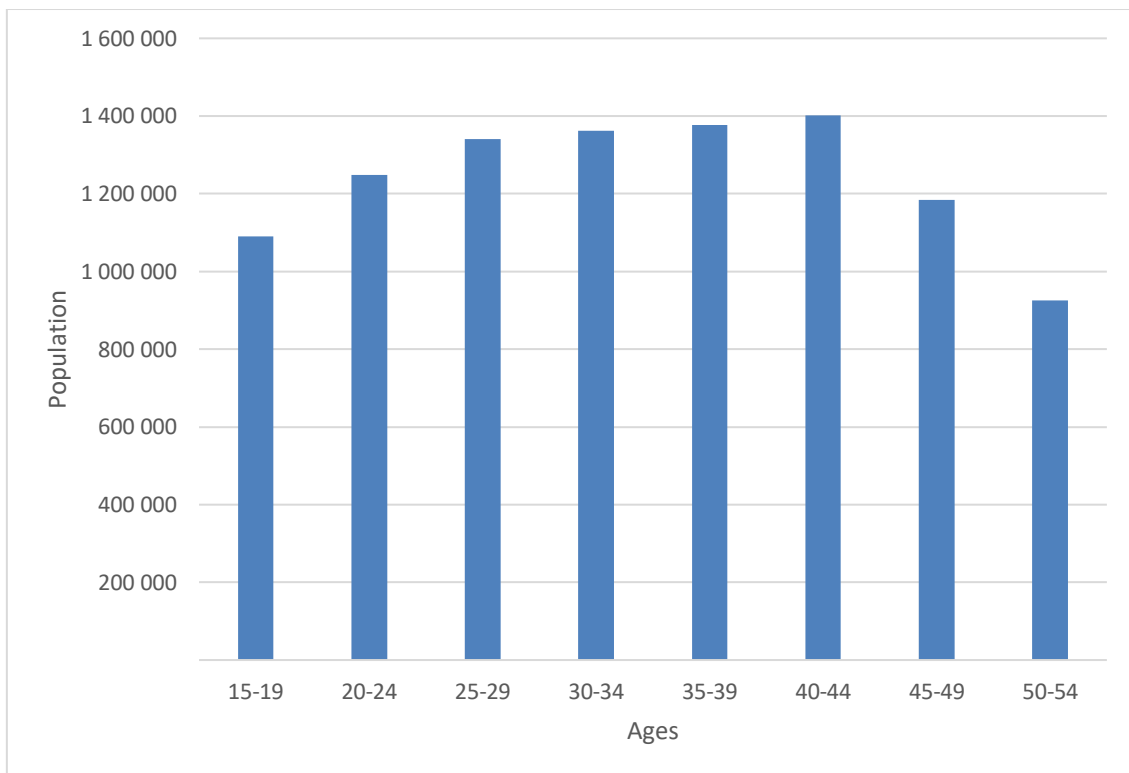


**Figure 3.** Flow of the research

### 3.1. Population and sample of the research

The main population of the research consists of individuals aged between 18 and 55 residing in Istanbul. The lower age limit of 18 was determined due to the fact that some of the new mobility services included in this study have a minimum age requirement of 18, which is the legal driving age. The upper age limit of 55 was chosen based on previous studies in the literature, which indicated that users of these services tend to fall within this age range. Furthermore, none of the participants in the survey were above the age of 55, which supporting this selection.

The population comprising individuals aged between 18 and 55 residing in Istanbul was determined based on the data published by the Turkish Statistical Institute (TÜİK) in 2021, specifically the "Population by Province, Age Group, and Gender" report. According to this data, the population of the main population was determined to be 9,928,977 individuals (Figure 4).



**Figure 4.** The age distribution of the population in İstanbul (TÜİK, 2022).

Since there was no explicit age range specified in the "Population by Province, Age Group, and Gender" data published by TÜİK, the lower age limit was taken as 15 and the upper age limit as 54 when calculating the population for the study. Thus, a larger population was considered than what would be expected. This situation can be interpreted as the population being larger, resulting in a more representative sample and providing more reliable results in terms of representativeness.

When considering different sample sizes for various sampling errors determined by Yazıcıoğlu and Erdoğan (2004) and based on the probabilities of  $p=0.5$  and  $q=0.5$ , a minimum sample size of 384 is required for a population of 10,000,000 with a confidence interval of  $\alpha=0.05$  (Table 1). This study was conducted with a sample size of 404 at a 95% confidence level under the conditions of  $p=0.5$  and  $q=0.5$ . In Table 1 "p" represents the estimated proportion of the population with a certain characteristic whereas "q" represents the complement of the p which is  $1-p$ .

**Table 1.** Calculated sample sizes for different population sizes and sampling error. (Yazıcıoğlu and Erdoğan, 2004)

Population size (person)	0.03 sampling error (d)			0.05 sampling error (d)			0.10 sampling error (d)		
	p=0,5	p=0,8	p=0,3	p=0,5	p=0,8	p=0,3	p=0,5	p=0,8	p=0,3
	q=0,5	q=0,2	q=0,7	q=0,5	q=0,2	q=0,7	q=0,5	q=0,2	q=0,7
<b>100</b>	92	87	90	80	71	77	49	38	45
<b>500</b>	341	289	321	217	165	196	81	55	70
<b>750</b>	441	358	409	254	185	226	85	57	73
<b>1000</b>	516	406	473	278	198	244	88	58	75
<b>2500</b>	748	537	660	333	224	286	93	60	78
<b>5000</b>	880	601	760	357	234	303	94	61	79
<b>10000</b>	964	639	823	370	240	313	95	61	80
<b>25000</b>	1023	665	865	378	244	319	96	61	80
<b>50000</b>	1045	674	881	381	245	321	96	61	81
<b>100000</b>	1056	678	888	383	245	322	96	61	81
<b>1000000</b>	1066	682	896	384	246	323	96	61	81
<b>100.000.000</b>	1067	683	896	384	245	323	96	61	81

### 3.2. Analysis method

In this research, the chi-square test of independence was utilized as the analytical approach. This test assesses the statistical significance of the deviation between observed and expected frequencies. It is widely applied to determine if there is a statistically significant association between two or more categories, to evaluate homogeneity across categories, and to check if the distribution observed in the sample matches an expected theoretical distribution, among other applications (Yazıcıoğlu, 2004). The selection of this analysis method was guided by factors including a review of the literature, the objectives of the research, and the compatibility of the dataset with this particular analytical technique.

The chi-square independence test aims to assess the similarity between observed frequencies ( $G_{ij}$ ) in  $2 \times 2$  or  $r \times c$  matrices and the theoretical frequencies ( $T_{ij}$ ) calculated based on marginal probabilities. The hypotheses and calculation formula (Eq.1) in the chi-square independence test are as follows (Uzgören, 2007)

$H_0$ : Variables are independent (There is no relationship between variables)

$H_1$ : Variables are dependent (There is a relationship between variables)

The chi-square test is calculated according to the formula below.

$$X^2_{hes} = \sum \frac{(G_{ij} - T_{ij})^2}{T_{ij}} \tag{1}$$

In the chi-square test of independence, cross-tabulation was performed using sociodemographic variables, general travel behavior-related questions and questions related to innovative transportation services to investigate whether there is a significant relationship between the variables. The summary of the results of the chi-square test of independence, indicating the rejection of the null hypothesis ( $H_0$ ) and the presence of a statistically significant relationship between the variables is provided in Table 2. The green cells in Table 2 represent the situations where the null hypothesis is rejected, and the methods used in the chi-square test of independence are represented by the letter "P" for Pearson chi-square test and the letter "F" for Fisher's exact test. Additionally, significance values are provided. Accordingly, a total of 45 hypotheses were found to reject the null hypothesis, indicating a dependent relationship between the variables. Among these hypotheses, Pearson's chi-square test was used for 11 hypotheses, while Fisher's exact test was used for 34 hypotheses. The survey questions are divided into three

groups. The questions in the first group, denoted as S1D, are related to participants' sociodemographic characteristics. The questions in the second group, denoted as S2S, pertain to participants' general travel experiences, preferences, and behaviors. The questions in the third group, denoted as S3Y, focus on innovative transportation services. The question groups and the survey questions are presented in Table 2. In the chi-square test of independence, if the proportion of theoretical frequencies calculated for each cell is less than 5 and less than 20% of the total, the Pearson chi-square test is used; if it is equal to or greater than 20%, the Fisher's exact test is used. Then, the significance value of the selected method is examined. If the significance value is less than 0.05, the null hypothesis (H0) is rejected, while if it is greater than 0.05, the null hypothesis cannot be rejected. The Survey Questions, Question Groups, and Codes are provided in Appendix 1.

**Table 2.** Chi-square independence test results and significant variables.

	S3Y1	S3Y2	S3Y3	S3Y4	S3Y5	S3Y6	S3Y7	S3Y8	S3Y9	S3Y10	S3Y11	S3Y12
S1D1												
S1D2												
S1D3	P, 0,001	P,0,027					F, 0,027				P, 0,003	
S1D4	F, 0,001		F,0,043			F, 0,007	F, 0,001	P, 0,002			F, 0,001	
S1D5	F, 0,008		F, 0,001				F, 0,028	F, 0,026				
S1D6	P, 0,004					P, 0,039	F, 0,001	P, 0,008		F, 0,011		
S1D7	F,0,017						F, 0,001	P, 0,005			F, 0,042	
S1D8			F, 0,013				F, 0,044	F, 0,004			F, 0,044	
S2S1	P,0,002						F, 0,001	P, 0,035				
S2S2	P,0,045		F, 0,001			F,0,013	F,0,025					
S2S3	F, 0,013					F,0,027				F, 0,014		
S2S4	F,0,004	F,0,025		F,0,021			F, 0,001	F, 0,005	F, 0,001	F, 0,014		
S2S5							F, 0,042					
S2S6												
S2S7												

**4. Results**

In this section, an overview will initially be provided concerning the 404 participants who were included in the survey study. Subsequently, the survey results will be interpreted through the use of exploratory analysis methods. Lastly, the results of the chi-square independence test will be presented, indicating the rejection of the null hypothesis (H0) and demonstrating the presence of statistically significant relationships between the variables, thereby presenting the findings of the research.

*Descriptive analysis*

Analyzing the demographic characteristics of the survey participants, it is observed that 53% of the participants are male, while 47% are female. Looking at the distribution of participants by age group, the 26-40 age range accounts for 48% of the participants, while the 18-25 age range accounts for 41.3%. Regarding employment status, 47.5% of the participants stated that they work full-time, while 35% identified themselves as students. Additionally, 63.6% of the respondents are single, while the remaining participants are married individuals. When asked about income level, 39.6% reported



earning below 5500 TL (minimum wage in 2022), followed by 23% earning between 5500-10,000 TL, and 14.9% earning between 10,000-13,750 TL. Finally, when asked about the highest level of education completed, 38.1% indicated high school, while 31.9% indicated a bachelor's degree.

When looking at the results related to individuals' general travel behavior, it is found that 49.5% of the participants have a vehicle they can use on a daily basis, while 50.5% do not. In terms of driver's license status, a significant portion of 81.2% of the participants are licensed drivers. Furthermore, when participants were asked about the most important criteria they consider in their general travels, 19.3% selected time and comfort, while 17.8% chose the combination of time and cost. The most preferred mode of transportation for daily trips among participants is public transportation, with a rate of 62.9%, followed by private vehicles at 21.5%. When asked about the reasons for choosing these modes of transportation, 9.2% of the participants solely mentioned cost, while the same percentage (9.2%) chose the combination of cost and ease of use. Lastly, 47.3% of the participants reported making 2 to 4 trips per day, followed by 0 to 2 trips, which accounted for 43.8% of the participants. Additionally, when participants were asked about the average duration of their daily trips, 26.5% indicated 30-60 minutes, followed by 22% selecting 60-90 minutes.

Conducting descriptive analyses, the chi-square test of independence was then used to evaluate whether there is a statistically significant relationship between individuals' demographic characteristics, general travel behavior, and the use of innovative transportation services.

#### *Statistical analysis*

According to the test results, the null hypothesis ( $H_0$ ) was rejected, indicating dependent relationships among variables in a total of 45 hypotheses. Of these variables, 27 relate to the demographic-socioeconomic characteristics of individuals and their usage of innovative transportation services. Eighteen variables were identified as statistically significant in relation to individuals' general travel behaviors and their use of innovative transportation services. The analysis concludes that there is a statistically significant relationship between individuals' demographic and socioeconomic statuses such as gender, age, employment status, marital status, income level, and education level and their use of innovative transportation services. Additionally, significant variables correlating individuals' general travel behaviors with their utilization of innovative transportation services include vehicle ownership status, driving license possession, criteria considered important in daily commutes, preferred modes of transportation for daily travels, and the reasons for choosing these modes. The results pertaining to the rejection of the null hypothesis are presented below.

Among the survey participants, 24.5% of those who use new mobility services stated that they use shared micromobility vehicles, while 7.9% reported using vehicle sharing systems. When examining the distribution of these users by age groups, it was found that the 18-25 and 26-40 age ranges heavily favor shared micromobility vehicles, with the latter age group showing a significantly higher preference for personal micromobility vehicles compared to the 18-25 age group. Furthermore, individuals in the 26-40 age range showed a significantly higher preference for vehicle sharing systems compared to other age groups, while the 41-55 age group had a significantly lower usage rate of these services. In terms of gender, a significant proportion of both males and females preferred shared micromobility services, with males showing a significantly higher usage rate of personal micromobility vehicles compared to females. Among employment statuses, both full-time workers and students showed a significantly higher usage rate of shared micromobility vehicles compared to individuals in other employment categories. Full-time workers also exhibited a significantly higher usage rate of personal micromobility vehicles and a higher rate of vehicle sharing system usage compared to other employment groups. Regarding marital status, unmarried individuals had a significantly higher preference for shared micromobility services and a higher preference for vehicle sharing systems. When examining income levels, individuals earning between 0-5500 TL showed a significantly higher usage rate of shared micromobility vehicles or no usage of any of these services compared to other income groups. Additionally, the income group of 10,000-13,750 TL showed a significantly higher preference for personal micromobility vehicles compared to other income groups. Finally, there was a significant relationship observed between individuals' education levels and the usage of innovative

transportation services for their specific trips, as well as the modes of transportation they preferred before using these services.

When examining the impact of innovative transportation services on individuals' general travel behavior and preferences, it is found that before using these services, participants stated that they used public transportation for 44.4% of their journeys, walking for 25.8%, and private vehicles for 15.7% of their same journeys. Accordingly, it is evaluated that new mobility services in Istanbul have replaced public transportation, walking, and private vehicle travel to a significant extent. When participants were asked about the purposes for using these services, 48.3% mentioned to go one places to another with specific objective, 29.8% mentioned entertainment and leisure, and 13.5% mentioned first and last-mile trips. Therefore, the majority (over three-quarters) of those who use these services do so for transportation purposes, while 13.5% use them specifically for first and last-mile trips. Additionally, 51.7% of users stated that they prefer these services for journeys of 0-2.5 km, and 16.9% indicated their preference for journeys of 2.5-5 km in length. This indicates that innovative transportation services are chosen over modes like minibusses, especially for short-distance trips within the service areas of public transportation. Furthermore, these services complement public transportation for longer-distance trips. When participants were asked about their reasons for choosing innovative transportation services, 14% stated its speed, while 9.6% mentioned fun as their main motivation.

**Examining the usage of innovative transportation services in different types of trips**, it is observed that home based trips account for 36% of all trips, home to work trips represent 20.2%, and home to school trips make up 11% of the trips. Therefore, home-to-work and home-to-school trips, which constitute a significant portion of individuals' daily travels, account for 31% of the trips made using innovative transportation services. This indicates that in areas where home-to-work and home-to-school distances are relatively short, there is a significant potential for these services to be widely adopted.

Analyzing the impact of innovative transportation services on individuals' daily travel frequency, 64.6% of the survey participants stated that these services affect their daily travel frequency. Furthermore, 26.4% agreed that innovative transportation services have led them to make more trips, whereas 43.2% disagreed, and 30.3% were undecided. On the other hand, 10.1% believed that these services have resulted in fewer trips, while 65.1% disagreed, and 24.7% were unsure. Therefore, more than half of the users reported an increase or decrease in their daily travel frequency, and for 26.4% of them, new travel demands have emerged. By enhancing the conditions and circumstances under which users prefer these services and by effectively guiding travel demands, innovative transportation services can provide integrated support to urban mobility systems.

## 5. Conclusion

This research delves into the effects of new mobility services on the travel habits and daily activity choices of residents in Istanbul, Turkey. These services, which are gaining popularity in urban settings and have the potential to integrate into the primary transportation infrastructure rather than just serving as an alternative, are analyzed for their influence on Istanbul residents. The study further explores the association between individuals' sociodemographic profiles, their general travel patterns, and their engagement with these innovative transportation options. Moreover, it addresses inquiries regarding the situations and motivations behind the selection or non-selection of these services, as well as the factors contributing to their increased adoption.

In this research, the determinants affecting individuals' travel behaviors are scrutinized, both broadly and specifically within the context of new mobility services. The study reviews existing literature on the role of innovative transportation services in shaping urban mobility and individual travel patterns. It outlines the research sample and methodology employed, detailing a survey conducted among 404 individuals in Istanbul. This survey encompassed questions on participants' sociodemographic profiles, general travel behaviors, and their usage of innovative transportation options. The analysis of survey data was performed using descriptive analysis techniques and the chi-square test of independence, identifying variables that demonstrate a statistically significant association with individuals' demographic characteristics, general travel trends, and preferences for innovative transportation.

The research aimed to uncover reasons behind the non-utilization of innovative transportation services by some individuals and the conditions under which they would consider using these services. Participants who had not previously engaged with these services (accounting for 55.9% of respondents) were queried about their reasons for abstention. Among them, 39.4% cited safety concerns, 32.7% indicated a lack of familiarity with operation methods, and 18.6% considered that prices are not affordable. When questioned about potential usage if their concerns were addressed, 18.1% leaned towards shared micromobility, 17.7% towards vehicle sharing systems, and 16.4% towards individual micromobility vehicles, while 21.2% maintained they would not use any such services. However, remaining 78.8% expressed openness to adopting one or more innovative transportation options if their concerns were addressed, highlighting critical insights for the expansion of these services in Istanbul and pinpointing areas for improvement as identified by non-users.

Comprehending the changes, trends and the dynamics of mobility demand and supply in urban areas, alongside current passenger and freight movements, is crucial for integrating these insights into the transportation system's future planning and development. It's vital to understand both current users and potential adopters of new mobility services and how these services influence people's travel habits and daily choices to stay attuned to urban mobility trends.

Future research should delve into panel data analysis on these services and investigate detailed statistics such as trip origins and destinations, travel times, distances, and user satisfaction levels. Additionally, it is suggested that local municipalities and central government entities like ministries enhance research efforts to adapt to changing travel behaviors and preferences and establish dedicated institutional frameworks accordingly. Exploring travel tendencies and behavioral shifts through novel data collection methodologies in transportation is advised. Implementing annual travel behavior surveys by TÜİK, accumulating travel behavior data via central bodies like the National Transportation Data Center, and ensuring data accessibility are recommended strategies within this framework.

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

The authors have no conflict of interest to declare.

#### **Financial Disclosure**

No financial support received for this study

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

The authors' contribution rates in the study are equal.

## References

- Almanna, F.A., Alsahhaf, H.I., Ashqar, M., Elhenawy, M., Masoud and Rakotonirainy A.** (2021). Perception Analysis of E-Scooter Riders and Non-Riders in Riyadh, Saudi Arabia: Survey Outputs, *Sustainability*, 13,2. <https://doi.org/10.3390/su13020863>
- Blablacar.** (2022). Retrieved December 17, 2022, from <https://blog.blablacar.com/blog/blablalife/events/we-are-100-million-on-blablacar>
- Cbinsights.** (2022). Retrieved December 18, 2022, from <https://www.cbinsights.com/research/disrupting-cars-car-sharingscooters-ebikes/>.
- Fluctuo.** (2021). Retrieved December 7, 2022, from <https://european-index.fluctuo.com/>
- Glavić, D., Trpković, A., Milenković, M., Jevremović, S.** The E-Scooter Potential to Change Urban Mobility—Belgrade Case Study. *Sustainability* 2021, 13, 5948. <https://doi.org/10.3390/su13115948>
- Glavić D., Milenković M., Trifunović A., Jokanović I., Komarica J.** Influence of Dockless Shared E-Scooters on Urban Mobility: WTP and Modal Shift. *Sustainability*. 2023; 15(12):9570. <https://doi.org/10.3390/su15129570>
- Güngör, M.** (2008). Ki-Kare Testi Üzerine, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 7,1, 84-89. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fudad/issue/47171/593924>
- Heineke, K., Kloss, B., Scurtu, D.** (2022) Micromobility: Industry progress, and a closer look at the case of Munich, *McKinsey & Company*. Retrieved November 23, 2022, from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/micromobility-industry-progress-and-a-closer-look-at-the-case-of-munich>.
- İETT.** (2022). Retrieved July 27, 2022, from <https://iett.istanbul/icerik/kronolojik-tarihce>
- Jochem P., Frankenhauser A., Ewald L., Ensslen A., and Fromm, H.** (2020). Does free-floating carsharing reduce private vehicle ownership? The case of SHARE NOW in European cities, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 373-395. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.016>.
- KGM.** (2020). Retrieved June 28, 2022, from <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/BasinveHalklalliskilerBirimi/tarihce.pdf>
- Kiralama.** (2022). Retrieved October 15, 2022, from <https://mobkritik.com/en-iyi-arac-kiralama-uygulamalari/>
- Lee, H., Baek, K., Chung, J.-H., Kim, J.** Factors affecting heterogeneity in willingness to use e-scooter sharing services. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2021, 92, 102751.
- Marti.** (2023) Retrieved March 15, 2024 from <https://www.girisimhaberleri.com/marti-tag-erisim-engeli/>
- Mitra, R., Hess, P.M.** Who are the potential users of shared e-scooters? An examination of socio-demographic, attitudinal and environmental factors. *Travel. Behav. Soc.* 2021, 23, 100–107.
- MOOV.** (2022). Retrieved December 14, 2022, from <https://otogundem.com.tr/moov-by-garenta-2-milyon-kiralamayi-gecti/12262/>
- Sengül, 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>
- T. Bieliński., and A. Wazna.** “Electric Scooter Sharing and Bike Sharing User Behaviour and Characteristics,” *Sustainability*, vol. 12, no. 22, Article No. 9640, 2020.

**Tang, B.J., Li, X.Y., Yu, B. and Wei, Y.M.** (2020). How app-based ride-hailing services influence travel behavior: An empirical study from China, *International Journal of Sustainable Transportation*, 14, 7, 554–568. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1584932>.

**Tuli, F.M., Mitra, S., Crews, M.B.** Factors influencing the usage of shared E-scooters in Chicago. *Transp. Res. Part A Policy Pr.* 2021, 154, 164–185.

**TÜİK.** (2022). Retrieved December 27, 2022, from <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=45500>.

**UAB.** (2022). Retrieved July 10, 2022, from <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulasan-erisen-turkiye-171122.pdf>

**Uzgören N, Uzgören E.** (2007). Dumlupınar Üniversitesi Lisans Öğrencilerinin Memnuniyetini Etkileyen Bireysel Özelliklerin İstatistiksel Analizi - Hipotez Testi, Ki-Kare Testi Ve Doğrusal Olasılık Modeli. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. June 2015;(17).

**Yazıcıoğlu, Y., Erdoğan, S.** (2004). *SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, Detay Yayıncılık, Ankara

**Appendix 1. Survey Questions, Question Groups and Codes**

	<b>Question Code</b>	<b>Questions</b>
<b>Socio-Demographic Characteristics</b>	S1D1	In which district of Istanbul do you live?
	S1D2	In which district is your workplace or school located? (For students, enter the district of their school; for those employed, enter the district where their workplace is located.)
	S1D3	Gender
	S1D4	Age
	S1D5	Employment status
	S1D6	Marital status
	S1D7	Monthly average income?
	S1D8	Highest level of education completed?
<b>General Travel Behavior</b>	S2S1	Do you own or have access to a personal vehicle that you can use daily (e.g., family car, company car, etc.)?
	S2S2	Driving license status?
	S2S3	What is the most important criterion for you when making general trips? (Multiple options can be selected)
	S2S4	What is your preferred mode of transportation for daily trips?
	S2S5	Why do you prefer this mode of transportation? (Multiple options can be selected)
	S2S6	How many trips do you make on average in a day? (For example: commuting from home to work and back is considered as a total of 2 trips)
	S2S7	How much time, on average, do you spend on your trips in a day?
<b>Innovative Transportation Services</b>	S2Y1	Which of the following innovative transportation services do you use the most? (If none, only S3Y11 and S3Y12 are answered)
	S3Y2	How often do you use these innovative transportation services?
	S3Y3	On which trips do you use these innovative transportation services?
	S3Y4	Why do you prefer these innovative transportation services? (Multiple options can be selected)
	S3Y5	What is your main purpose when using these innovative transportation services?
	S3Y6	For what distance of trips do you prefer using innovative transportation services?
	S3Y7	Which mode of transportation were you using for these trips before using innovative transportation services?
	S3Y8	Have the innovative transportation services affected the number of trips you make?
	S3Y9	The innovative transportation services have led me to make more trips
	S3710	The innovative transportation services have led me to make fewer trips
	S3Y11	I do not use innovative transportation services due to the following reasons
	S3Y12	If the conditions mentioned above are met, which of the following innovative transportation services would you use? (Multiple options can be selected)

## Araştırma Makalesi

### Havalimanlarında inovasyon uygulamalarının karşılaştırılması

F. Didem GÖÇMEN<sup>1,\*</sup>,

<sup>1</sup> Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği, Türk Hava Kurumu Üniversitesi. Ankara, Türkiye

\*Correspondence: [dgocmen@thk.edu.tr](mailto:dgocmen@thk.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1436536

**Özet:** Havalimanları, günümüzde sadece altyapı hizmeti sunan birimler değil, aynı zamanda karmaşık iş modelleri ve geniş bir hizmet yelpazesine sahip işletmeler haline gelmişlerdir. Bu değişim, havalimanlarının ticarileşmesinde ve havacılık dışı gelirlerini artırmada, yenilikçi yaklaşımlar benimsenmesini gerektirmektedir. İnovasyon, havaalanlarının giderek artan küresel yolcu trafiği ve operasyonel verimlilik ihtiyaçlarını karşılama çabalarında merkezi bir role sahiptir. Bu çalışmada, inovasyonun sınıflandırılması ve güncel havalimanı yönetimi yaklaşımları dikkate alınarak havalimanlarında inovatif uygulamaların karşılaştırılması ele alınmıştır. İnovasyonun sınıflandırılmasına göre havalimanlarında inovasyon uygulamaları, Uluslararası Havalimanları Birliği verilerine göre 2022 yılında dünya genelinde uluslararası yolcu trafiği en yoğun ilk üç havalimanı üzerinden incelenmiştir. Havalimanlarının benimsedikleri inovasyon stratejileri ve temel ortak özellikler incelenmiştir. Çalışma sonuçları, havalimanlarının genellikle operasyonel iyileştirmeler ve müşteri deneyimini artırmaya yönelik teknolojik yenilikleri benimseyerek inovasyonu teşvik ettiğini göstermektedir. Ayrıca, havaalanlarının çevresel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği gibi alanlarda da inovatif adımlar attığı görülmektedir. Havalimanlarında inovatif çözümlerin etkin bir şekilde uygulanması için uzun vadeli, bütünsel bir stratejik yaklaşımın benimsenmesinin ve tüm paydaşların iş birliğinin önemi vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Havalimanı yönetimi, inovasyon, sürdürülebilirlik, havayolu ulaşımı.

### A Comparison of innovation practices at airports

**Abstract:** Airports today have evolved into not only units providing infrastructure services but also complex business entities with a wide range of services. This transformation necessitates the adoption of innovative approaches in airport commercialization and increasing non-aviation revenues. Innovation plays a central role in addressing the growing global passenger traffic and operational efficiency needs of airports. This study addresses the classification of innovation and the comparison of innovative practices in airports, considering current airport management approaches. According to the classification of innovation, the implementation of innovations at airports has been examined based on the data from the International Airports Association for the top three airports with the highest international passenger traffic worldwide in 2022. The innovation strategies adopted by airports and their key common features are examined. The findings of the study indicate that airports generally promote innovation by adopting technological innovations aimed at operational improvements and enhancing customer experience. Additionally, airports are seen to take innovative steps in areas such as environmental sustainability and energy efficiency. The importance of adopting a long-term, holistic strategic approach and collaboration among all stakeholders for the effective implementation of innovative solutions in airports is emphasized.

**Key Words:** Airport management, innovation, sustainability, air transportation.

\* Corresponding author.

E-mail address: [dgocmen@thk.edu.tr](mailto:dgocmen@thk.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-3939-441X (in hierarchical order)

Received 13.02.2024; Received in revised form 22.06.2024; Accepted 16.07.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY 4.0.



## 1.Giriş

Havayolu taşımacılığının en önemli unsurlarından biri olan havalimanları, havayolları, yer hizmetleri kuruluşları, bakım işletmeleri, ulusal ve uluslararası otoriteler gibi birçok farklı paydaşla ortaklaşa hizmet verme yükümlülüğü olan ve rekabetin yoğun olduğu bir sektördür. Havalimanları, artık günümüzde uçakların iniş-kalkış yaptığı, sadece altyapı hizmeti veren birimler olarak görülmemektedir. Son derece geniş bir hizmet yelpazesine sahip, oteller, sergi ve kongre salonları, ofisler, ticaret merkezleri, depolar, lojistik merkezler gibi çeşitli iş alanlarını bünyelerinde barındırarak, çevrelerinde yarattıkları ekonomik değerler ile “havalimanı şehirlerine” dönüşmektedirler (Price vd., 2014). Bu dönüşüm, havalimanlarının ticarileşmesinde ve havacılık dışı gelirlerini artırmada, yenilikçi yaklaşımlara olan ihtiyaçlarını artırmaktadır. Giderek artan sayıda küresel yolcuya hizmet vermenin zorluklarıyla baş edebilme ve operasyonel verimliliği artırmada, inovasyon, havalimanları için önemli bir unsur haline gelmektedir.

Yolcu memnuniyetini ve operasyonel verimliliği artırarak, havalimanlarının rekabet edebilirliklerini ve sürdürülebilirliğini sağlayan inovasyon, yeni ürünlerin, hizmetlerin veya iş modellerinin geliştirilmesi veya mevcutların iyileştirilmesiyle bir değer yaratmayı ifade etmektedir. İnovasyon, sadece ürün veya hizmetlerdeki değişikliklerle sınırlı değildir; yeni iş modelleri, yeni hedef pazarlar ya da en son teknolojiye entegrasyon gibi çeşitli hususları içermektedir. İnovasyonun başarılı bir şekilde uygulanması, farklı inovasyon türlerini uyumlu ve koordineli bir şekilde stratejik olarak birleştirmeyi gerektirmektedir.

Sektöre özgü, inovasyona yönelik son yıllarda yapılan araştırmalarda, sürdürülebilir ve akıllı havalimanlarının yanı sıra yeni hava ve yer araçları, güvenlik ve emniyetin sağlanmasında biyometrik teknolojiler gibi konuların ele alındığı görülmektedir. Çoğunlukla bilgi ve iletişim teknolojilerinden yararlandığını, ürün ve hizmet inovasyonuna odaklandığını, ancak genellikle havalimanlarının konsolide bir stratejik yaklaşımlarının olmadığı ifade edilmektedir. Havalimanları inovasyonu için daha kapsamlı bir çerçevenin geliştirilmesi gerektiği de vurgulanmaktadır (Kılıç vd., 2021).

Bu çalışmada, inovasyonun sınıflandırılması ve güncel havalimanı yönetimi yaklaşımları dikkate alınarak havalimanlarında inovatif uygulamaların karşılaştırılması ele alınmıştır. İnovasyonun sınıflandırılmasına göre havalimanlarında inovasyon uygulamaları, Uluslararası Havalimanları Birliği verilerine göre 2022 yılında dünya genelinde uluslararası yolcu trafiği en yoğun ilk üç havalimanı üzerinden örneklendirilmiştir. Havalimanlarının benimsedikleri inovasyon stratejileri ve temel ortak özellikler incelenmiştir. Çalışma, güncel havalimanı yönetim yaklaşımlarının değerlendirilmesi ve inovatif uygulamaların kıyaslanmasıyla, havalimanlarında inovasyonun farklı bir perspektifini sunmaktadır.

## 2.Kavramsal Çerçeve

### 2.1.İnovasyon Kavramı ve İnovasyonun Sınıflandırılması

Yeni ürünlerin, hizmetlerin veya iş modellerinin geliştirilmesi ve mevcut ürünlerin veya süreçlerin iyileştirilmesi yoluyla bir değer yaratmayı hedefleyen inovasyon, kavram olarak ilk kez Schumpeter (1934)'in, “Ekonomik Kalkınmanın Temelleri” adlı eserinde karşımıza çıkmaktadır. Schumpeter, inovasyonu “Müşterilerin henüz bilmediği bir ürünün veya mevcut bir ürünün yeni bir niteliğinin, pazara sürülmesi, yeni bir üretim yönteminin uygulanmaya başlanması, yeni bir pazarın açılması, hammaddelerin veya yarı mamullerin tedarikinde yeni bir kaynağın bulunması, bir sanayinin yeni bir organizasyona sahip olması” şeklinde tanımlamaktadır (Schumpeter, 1934: Elçi, 2012). Schumpeter'in öncü çalışmalarıyla başlayan süreçte, kavram, bir organizasyonun içinde ve onu etkileyen çevresinde yenilik; mevcut durumu iyileştirme ve geliştirme çabaları, yaratıcı fikirlerin başarılı bir şekilde uygulanması, (Knight, 1967, Damanpour, 1991; Amabile,1996) gibi farklı perspektiflerle ele alınmış ve zamanla karmaşık ve çok boyutlu bir yapıya dönüşmüştür.

Chesbrough (2003), inovasyonu bir organizasyonun içinden veya dışından gelen yeni fikirlerin ve kaynakların, değer yaratmak amacıyla kullanıldığı bir süreç olarak ifade etmektedir. Yaratıcı fikirlerin, organizasyon içinde ve çevresinde yarattığı anlamlı değişikliklerin, organizasyonun sınırlarını aşarak değer yaratan bir süreç olduğu genel kabul görmektedir (Tidd ve Bessant, 2018; West ve Boger 2017). Yaratıcı düşünme ile sık sık yan yana anılan kavram, yaratıcı düşünme sonucu doğan fikirlerin, daha iyi

ürünlere, uygulamalara, süreçlere doğru zaman, yer ve uygun ortamda dönüşmesi olarak da görülmektedir (Göçmen, 2023). Bir fikrin gerçek kullanıma dönüştürülmesi inovasyonun önemli bir parçasıdır. Yeni fikirlerin ortaya çıkarılması, geliştirilmesi, uygulanması ve değer yaratan sonuçlar elde edilmesi sürecini içermektedir. İnovasyonun bu karmaşık ve çok boyutlu yapısı onun farklı şekillerde sınıflandırılmasına neden olmuştur. Sınıflandırmada, çoğunlukla Schumpeter (1934)'in ve Damanpour (1996)'un çalışmalarına atıf yapılarak inovasyonun konusuna ve etki alanına göre olmak üzere iki temel ayrıma tabi tutulduğu görülmektedir:

Konusuna göre inovasyonun sınıflandırılmasında, inovasyon; ürün inovasyonu, süreç inovasyonu, pazarlama inovasyonu ve organizasyonel inovasyon olarak gruplandırılmaktadır. Etki düzeyine göre ise (yenilik derecesine) inovasyon; radikal, artımsal ve yıkıcı inovasyon olarak ifade edilmektedir.

*Ürün İnovasyonu*; yeni veya önemli ölçüde geliştirilmiş bir ürünün ortaya çıkmasını içerir. Mevcut ürünlerin iyileştirilmesi veya tamamen yeni ürünlerin yaratılması yoluyla gerçekleştirilebilir. İnovasyon, bileşenlerde, teknik özelliklerde, materyallerde, bütünleşik yazılımlarda ya da diğer fonksiyonel özelliklerde önemli gelişimleri içermektedir (OECD, 2005). Örneğin, yeni bir teknoloji olarak görülen, sürdürülebilir çevre açısından önemli, daha verimli elektrikli yer araçlarının ya da hava araçlarının geliştirilmesi, ürün inovasyonuna bir örnektir. Khadonova vd., (2020) havalimanlarında iç ve dış mekân navigasyon sistemlerini, Wi-Fi, iBeacon ve detaylı kat planları gibi teknolojiler aracılığıyla yolculara ve havaalanı personeline destek veren ürünler olarak belirtmektedir.

*Süreç İnovasyonu*; iş süreçlerinin yeniden tasarlanması veya iyileştirilmesini kapsar. Daha verimli, hızlı veya maliyet etkin iş süreçlerinin oluşturulmasını amaçlar. İşletmenin, işini yürütme şekli ve tarzında stratejik bir faaliyetin başlatılması şeklinde ifade edilebilir (Ahmadu, 2021). Genellikle kullanılan tekniklerde, ekipman ve/veya yazılımda değişikliği içerir (OECD, 2005). Bir üretim hattında atık otomasyonun uygulanması veya hava lojistik süreçlerinin yapay zekâ ile optimize edilmesi, süreç inovasyonuna örnek olarak gösterilebilir. Silver (2003)'ün çalışmasında, ürün inovasyonu olarak nitelenen bagaj taşıma süreçlerinde uygulanan otomasyon teknolojileri, iş akış süreçlerinde yarattığı yenilikler ve operasyonel verimlilik nedeniyle süreç inovasyonu örneklerindedir.

*Pazarlama İnovasyonu*; yeni pazarlama stratejileri, dağıtım kanalları veya müşteri ilişkileri yönetimi gibi hususlarda değişim ile gerçekleşir. Pazarlama inovasyonu, ürünlerin veya hizmetlerin pazara sunulma şeklini veya pazarlama yöntemlerini değiştirerek rekabet avantajı elde etmeyi hedefler. Elektronik bilet satış ya da müşteri sadakat programlarının ilk kez uygulanması, bu tür inovasyona örnektir. Çankaya (2020), çalışmasında büyük veri teknolojilerinin yolcu tercihlerini analiz etmede, havalimanı mağazalarında ilgiye yönelik indirimleri duyurmada ya da robotların reklam ve yönlendirmede kullanımını ile pazarlama yöntemlerinde inovasyonun oluştuğuna dikkat çekmektedir.

*Organizasyonel İnovasyon*; işletme içindeki organizasyonel yapı, yönetim sistemi veya iş modeli gibi unsurlarda yenilikleri içerir. Daha esnek, hızlı ve doğru karar verebilen, çevik veya yaratıcı bir iş ortamının oluşturulmasını amaçlar. Baki vd., (2022)'nin çalışmalarında ifade edilen dijital çalışan profillerinin uygulanması, web tabanlı eğitim, mobil uygulamalar ve sosyal medya aracılığıyla kurumsal iletişim, entegre KPI raporlaması ve entegre faturalandırma gibi yenilikçi yöntemler havalimanlarında organizasyonel inovasyonu içermektedir.

Önceliklendirilen konuya göre yapılan sınıflandırmada, önemli olan bir diğer husus da herhangi bir alanda yapılan yeniliğin, diğer alanlara da yansyabileceğidir. Örneğin, yeni bir ürün üretimi, beraberinde yeni bir pazarlama stratejisi veya organizasyonel değişim de getirebilmektedir. Bu noktada, işletmenin hedef olarak ne tür bir inovasyonu önceliklendirdiği esas alınır.

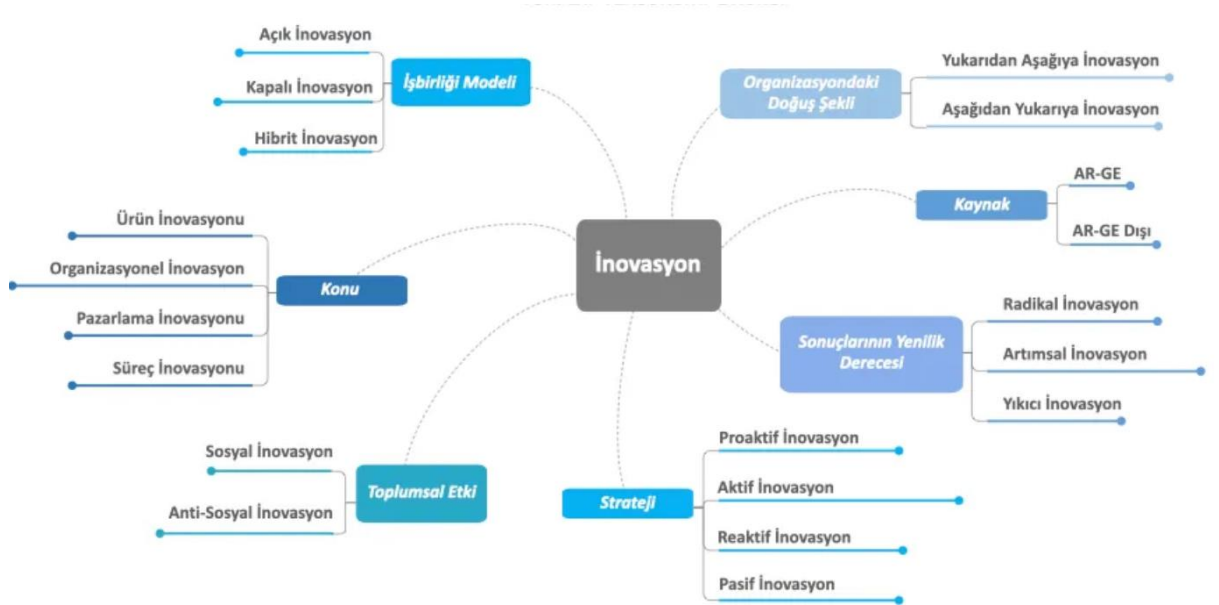
İnovasyonu sınıflandırmada kullanılan ikinci en yaygın ayırım ise etki düzeyine (sonuçların, yenilik derecesine) göre yapılmakta ve radikal, artımsal, yıkıcı inovasyon gibi başlıklarla anılmaktadır. (Bkz. Christensen, 1997; Utterback, 1994; Tushman, ve Anderson, 1986).

*Radikal İnovasyon*; mevcut durumu kökten değiştiren ve yeni bir paradigmaya yol açan büyük ölçekli yenilikleri ifade eder. Bu tür inovasyonlar, genellikle yüksek risk ve belirsizlik içerir ve sektörde önemli bir etki yaratır. Örneğin, ilk cep telefonunun, bilgisayarın, Jumbo jet uçakların geliştirilmesi, radikal inovasyon örnekleridir.

*Artımsal İnovasyon*; mevcut ürünlerin veya süreçlerin evrim geçirerek iyileştirilmesini ifade eder. Bir dizi geliştirme ve iyileştirme faaliyetini içeren çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Elçi vd., 2008: 25). Örneğin, 5G erişiminin ya da mevcut uçak tipinin yeni serilerinin piyasaya sürülmesi artımsal inovasyon örnekleridir. Radikal inovasyon, mevcut durumu kökten değiştirirken; artımsal (adımsal) inovasyon, mevcut ürün veya süreçleri geliştirmeyi amaçlar (Tidd ve Bessant, 2013).

*Yıkıcı İnovasyon* ise; mevcut piyasa liderlerini veya iş modellerini temelden sarsan yenilikleri ifade eder. “Bir pazarın talep ve ihtiyaçlarını önemli ölçüde dönüştüren ve eski kilit oyuncuların mevcut pozisyonlarını bozan, başarıyla kullanılan bir ürün, hizmet veya iş modeli” olarak tanımlanmaktadır” (Thomond ve Lettice, 2002). Bu tür inovasyonlar, genellikle daha düşük maliyetli, basit veya daha erişilebilir alternatifler sunar ve başlangıçta mevcut oyuncular tarafından ciddiye alınmayabilir. Örneğin, dijital müzik ya da dizi, film platformlarının (Netflix, Spotify) geleneksel sinema ve müzik endüstrisini etkilemesi, yıkıcı bir inovasyon örneğidir. Yıkıcı inovasyon, yarattığı radikal değişim nedeniyle radikal inovasyonla karışmakla birlikte özünde ayrı iki yaklaşımdır. Radikal inovasyon, tamamen yeni ürün hizmet ve süreçlerin, yüksek risk içerecek şekilde ticarileştirilmesinden kaynaklanırken; yıkıcı inovasyon, pazara yeni giren işletmelerin, eldeki yetersiz kaynaklarına rağmen, pazarda yerleşik olan işletmelere üstün geldikleri bir süreci içerir. Her hâlükârda her iki inovasyon türü de içinde buldukları endüstrileri ve toplumları dönüştüren büyük yeniliklerle ilişkilendirilmektedir.

İnovasyonun sınıflandırılmasında çoğunlukla Schumpeter (1934)’in ve Damanpour (1996)’un çalışmaları esas alınarak konu ve etki açısından yukarıda ifade edilen bu iki temel ayrımın yer aldığı görülse de doğuş kaynağı, yenilik derecesi, iş birliği çeşitliliği gibi birçok farklı açıdan konunun ele alındığını görülmektedir. Bir sınıflandırma önerisi olarak Şekil 1.’de yer alan sınıflandırmanın kapsayıcı olduğu düşünülmektedir (Güçkıran, 2021).



Şekil 1. İnovasyon Türleri

Farklı bakış açıları üzerinden inovasyonun tanımlanması, onun farklı yönlerinin görülebilmesine ve işletmelerin farklı inovasyon stratejileri oluşturmalarına yardımcı olmaktadır. Fakat sınıflandırmaların sınırlayıcılıkları ya da radikal olarak değerlendirilen bir stratejinin, pazarda yıkıcı etkiler de yaratabileceği gibi örnekler de dikkate alınarak bir yeniliğin birden çok alanda değişim yaratabileceği de unutulmamalıdır. Bu sınıflandırmalardan yola çıkılarak havalimanı yönetimine özgü inovasyon örneklerini incelemeyi önce havalimanı yönetiminde güncel yaklaşımlara değinmenin, havalimanlarının inovasyon stratejilerini anlamada kolaylık sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## 2.2.Havalimanı Yönetimi ve Havalimanı Yönetiminde Güncel Yaklaşımlar

Havayolu taşımacılığının önemli bir unsuru olan havalimanları; hava araçlarının iniş ve kalkış hareketlerini gerçekleştirebilmeleri için ihtiyaç duyulan altyapı hizmetlerini sunan ve yolcuların uçuş

işlemlerini sağlamak amacıyla karada veya suda kurulmuş bina tesisat ve teçhizatları içerecek şekilde özel olarak tasarlanmış alanlar olarak tanımlanmaktadır (ICAO, Annex 14, 2006; 2018).

Günümüz anlayışında havalimanlarını, hava ulaşımında sadece altyapı hizmeti sunan birimler olarak görmek mümkün değildir (Jarach, 2017). Yolcu, yük ve uçaklara, uçuşun emniyetli ve etkin gerçekleştirilebilmesi için gerekli alt yapı desteğini sağlarken yer hizmetleri kuruluşları, havayolları, bakım kuruluşları, yerel idari birimler, ticari alan kullanıcıları gibi birçok farklı paydaşın da dâhil olduğu bir dizi operasyonel ve ticari süreci yürütmektedirler. Havalimanlarında yürütülen faaliyetleri Tablo.1’de özetlemek mümkündür (Kuyucak ve Kaya, 2007):

**Tablo 1.** Havalimanı Faaliyetlerinin Sınıflandırılması

Operasyon Hizmetleri	Yer Hizmetleri	Ticari Hizmetler
Hava seyrüsefer hizmeti	Ramp hizmetleri	Alışveriş alanları
Hava durumu	Uçakların genel bakımı	Otel hizmeti
Bilgi akışı	Temsil hizmeti	Yiyecek-içecek mağazaları
Seferlerin iniş-kalkış bilgileri	Yolcu geliş ve gidiş hizmeti	Vergi almayan mağazalar
Emniyet	Ulaştırma	Otopark ve vale hizmeti
İtfaiye ve ilkyardım	İkram	Banka ve bankamatikler
Sağlık hizmetleri	Bagaj Kontrolü	Alınan reklamlar
Pist bakımı	Uçak özel güvenlik hizmeti	Kişisel bakım hizmeti veren kuruluşlar
Diğer hizmetler		
Havacılık Hizmetleri	Havacılık Hizmetleri	Havacılık Dışı Hizmetler

Havalimanı faaliyetlerinden görüleceği üzere günümüzde havalimanı kullanıcıları havayolu işletmeleri, bakım kuruluşları, yer hizmeti işletmeleri, acenteler, tedarikçiler, ticari alan kullanıcıları, çalışanlar, yolcular, ziyaretçiler gibi hayli kapsamlı bir gruba oluşturmaktadır. Bu paydaşlara etki eden tüm gelişmeler havalimanı yönetim anlayışını da beraberinde dönüştürmektedir. Havayolu taşıyıcılarının pazara erişim ve girişini düzenleyen serbestleşme ve liberalleşme eğilimleri, bununla paralel yeni iş modellerini (düşük maliyetli, bağlı düşük maliyetli, kargo taşımacılığı vb..) benimseyen havayollarının doğması ve havayolu iş birliklerinin ortaya çıkması, çevresel sürdürülebilirlik kaygıları, yeni uçak tiplerinin kullanımı ya da bilgiye erişimi artan yolcuların gereksinimlerindeki değişimler, havalimanı kavramını da değişime uğratmaktadır (Şengür, 2017). 2 Günümüzde havalimanları sadece uçakların iniş-kalkış yapıldığı mekânlar olmaktan çıkarak karmaşık iş süreçlerini ve çevresindeki ekonomik etkileri barındıran önemli yaşam merkezlerine dönüşmektedirler (Graham, 2011; Kasarda, 2001). Bu dönüşüm teknolojik gelişmeler paralelinde havalimanı yönetiminde inovasyona olan ihtiyacı döngü olarak daha fazla vurgulamaktadır.

Pazar liberalizasyonu, havalimanı özelleştirmesi ve artan rekabet nedeniyle havalimanlarında önemli değişiklikler yaşanmaktadır. Yolcuların artan talebi ve değişen beklentileri, işletme süreçlerini ve seyahat deneyimini geliştirmek için teknolojilerin yeni yollarla kullanılmasını gerektirmektedir. Havalimanları, havayolu şirketleri ve yolcuları içeren üçgen bir ilişkisel sistemde dijital teknolojilerin kullanımı inovasyona ve tüm paydaşlara fayda sağlamaktadır (Poulaki vd., 2021).

Havalimanları, yolcu memnuniyeti ve gelirlerini artırmak için teknoloji ve dijitalleşmeye yönelmektedir. Günümüz yolcuları, mobil uygulamalar, self-servis check-in, bagaj bırakma ve yol bulma haritaları gibi teknoloji odaklı hizmetleri talep etmektedir. Bu yatırımlar, işlem maliyetlerini ve sürelerini azaltarak, havaalanlarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Büyük havaalanları inşa etmek yerine, teknolojiye dayalı yolcu deneyimi yaratmak, gelecekteki büyüme için daha önemli hale gelmektedir (Harrison vd., 2014).

Artar ve Türkay (2021), havalimanlarındaki dijital dönüşümü; havacılık operasyonlarının farklılaşması ve dönüşmesi, yolcu ihtiyaçları ve deneyimlerinin dönüşmesi ve havacılık dışı gelirlerdeki artış olmak üzere 3 temel değişime bağlamaktadırlar. Tahmini analiz, yapay zeka ile kontrol, makine tasarlanması, bulut teknolojileri, büyük veri alanı, blockchain teknolojileri, nesnelerin interneti (IoT) ve RFID teknolojileri havalimanlarında gelecek uygulamalar olarak gösterilmektedir.

Havalimanlarındaki teknolojik dönüşümün literatürde dijital, akıllı havalimanları ve endüstri 4.0 uygulamaları başlıklarında da incelendiği görülmektedir. Atalık vd., (2019) endüstri 4.0 teknolojilerinin, özellikle havalimanında yön bulma, bagaj takip ve tanımlama sistemleri, artırılmış gerçeklik ve barkod uygulamaları ile kargo süreçleri, eller cepte olarak ifade edilen dokümansız seyahat ve biyometrik otomatik geçiş sistemlerinin, operasyonel süreçleri daha az maliyetli ve etkin hale getirdiğini ve yolcu deneyimini iyileştirdiğini ifade etmektedirler.

Havalimanları, küresel eğilimler doğrultusunda dijital teknolojilere yatırım yaparak müşteri memnuniyetini artırmayı hedeflemektedir. Dijital teknolojilerin, yolcular ve diğer paydaşlar arasındaki verimliliği ve etkinliği artırdığı, özellikle, yolcu hizmetlerindeki teknolojik uygulamaların bilgi, hizmet, yön, zaman, erişim ve yol bulma gibi konularda sorunları azaltarak havalimanı ve yolcu etkileşimini güçlendirdiği görülmektedir (Cam ve Durmaz, 2018).

Havalimanlarındaki dijitalleşme faaliyetleri akıllı havalimanı olarak da ifade edilmektedir. Akıllı havalimanları, altyapı, kontrol noktaları, yolcu-bavul-kargo kontrol sistemi, bilgi noktaları ve iç iletişimlerde IoT cihazları, dijital kameralar, coğrafi konum teknolojisi, temassız bavul işleme sistemleri ve kendi kendine hizmet sistemleri gibi teknolojileri kullanmaktadır. Kapasite talebini tahmin etmek, yolcu seyahat deneyimini iyileştirmek, operasyonel süreç verimliliğini artırmak, personel verimliliğini artırmak ve güvenliği sağlamak akıllı havalimanlarının temel hedeflerindedir (Euring vd., 2017).

Akıllı havalimanları, çalışanlar için etkili ve keyifli bir çalışma ortamı sağlamayı ve yolcuların memnuniyetini amaçlamaktadır. Bu nedenle birçok işletme, akıllı havalimanı ile ilgili teknolojilere yönelik çaba sarf etmektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilere yatırım yapmak maliyet, yetenekler, belirsizlik ve kırılabilirlik gibi birçok zorluğu içinde barındırmaktadır. Teknolojik inovasyon birçok fırsat yaratmakta, ancak son teknolojiyi uygulamak tek başına önemli bir değer yaratmamakta ve hemen etkin bir dijital dönüşüme yol açmamaktadır. Dijital çözümlerin getirdiği tam potansiyele ulaşmak için organizasyonları dönüştürmek ve genel bir bütünsel mimari kurgulamak gerekmektedir (Narongou ve Sun, 2022).

Havalimanları, akıllı sistemlerin ve yeni teknolojilerin kullanımıyla aynı zamanda çevresel etkinin azaltılmasına ve endüstrinin daha sürdürülebilir hale gelmesine olanak tanımaktadır. Sürdürülebilirlik uygulamalarının havacılık sektörü için bir zorunluluk haline geldiği değerlendirilerek dijitalleşmenin, sürdürülebilirlik çabalarına önemli katkılar sağlayabileceği ifade edilebilir. Birçok havalimanı, operasyonel verimlilik, güvenlik ve yolcu deneyimi alanlarında dijitalleşme faaliyetlerini hızlandırmaktadır. Bu faaliyetler, emisyonların azaltılması, kaynakların verimli kullanımı, çevrenin korunması ve atık yönetimi gibi sürdürülebilirlik hedeflerini de içermektedir. Akıllı havaalanı kavramı, endüstri 4.0'ın etkisiyle gelişmiş ve çevre dostu uygulamaları desteklemektedir (Gürsel vd., 2023).

### 3. Havalimanı Yönetiminde İnovasyon Literatürü

Havalimanı yönetimi, havacılık sektöründeki paydaşlarının değişimlerine ve özellikle teknolojiye gelişmelere göre sektörün ihtiyaçlarına karşılık verecek şekilde kendini yenileyen bir alandır. Havalimanlarında inovasyonla bağlantılı güncel araştırmaların daha çok sürdürülebilir ve akıllı havalimanları, yeni hava ve yer araçları (hibrit / elektrikli uçaklar, otonom yer taşıma araçları vb.), güvenlik ve emniyetin sağlanmasında biyometrik teknolojiler, hava trafik kontrolünde ve uçuş planlamada yenilikler gibi başlıklarla incelendiği görülmektedir.

Caetano ve Alves (2019) tarafından yapılan çalışmada, 2005-2015 yılları arasında havacılık alanındaki inovasyonla ilgili araştırmalar incelenmiştir. Uçak endüstrisi odaklı çalışmalarda, enerji verimliliği, endüstriyel süreçler ve gürültü ile kirletici emisyonların azaltılması gibi konuların ön planda olduğu gözlemlenmiştir. Havayolları üzerine yapılan çalışmalarda ise yeni iş modelleri, bilgi teknolojisi planlaması ve yönetim stratejileri gibi konulara odaklanıldığı belirlenmiştir. Havalimanları alanındaki araştırmalarda ise hizmetler, güvenlik, öz finansman, hava trafik kontrolü ve havalimanı projeleri gibi konulara odaklanılmıştır (Caetano ve Alves, 2019; Bayar, 2023). Havalimanı yapısı üzerine inovasyon konusunda sınırlı çalışma olduğu, özellikle pist kaldırılmaları ve havalimanı sahalarının optimizasyonu gibi alanlarda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır. Ayrıca havaalanlarında, uçuşlar sırasında ortaya çıkan yeni atık bertaraf biçimlerinin ve genel olarak havacılık sektöründe yeni ürünlerin geliştirilmesi konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu ifade etmektedirler. Havacılık sektöründe, özellikle havalimanları için yeni ürünlerin, hizmetlerin veya süreçlerin geliştirilmesinde,

yenilik eksikliği olduğu ve bu boşluğun doldurulması için diğer alanlardan başarılı uygulamaların incelenerek bunların havalimanı inovasyonuna uygulanmasını önermektedirler.

Silver, (2023), havalimanlarında inovasyonu ele aldığı çalışmasında özellikle Bilgi İletişim Teknolojilerinin uygulanmasını incelemiştir. Çalışma, havalimanı hizmet süreçlerinde robotlar, yapay zekâ ve servis otomasyonu gibi teknolojilerin rolüne odaklanarak müşteri sayısındaki artışa hazırlanma ve korona sonrası müşteri deneyimini iyileştirme amacını taşımaktadır. Örnek vaka olarak incelenen Incheon Uluslararası Havalimanı, bagaj taşıma süreçlerinde uyguladığı robotik ve otomasyon teknolojileri ile operasyonel verimliliği artırmıştır. Bu teknolojiler, bagajların daha hızlı ve hatasız bir şekilde taşınmasına olanak tanımakta, genel operasyonel verimliliği artırmaktadır. Temizlik konusunda ise havalimanı, otomatik temizlik robotları gibi yenilikçi teknolojiler kullanmaktadır. Bu robotlar, havalimanı tesislerini etkili bir şekilde temizleyebilmekte ve bakımını yapabilmektedir. Bu teknolojik gelişmeler, havalimanında genel olarak daha temiz ve güvenli bir ortam oluşturmakta ve pandemi sonrası seyahat beklentilerini karşılamaya yönelik bir çaba olarak öne çıkmaktadır.

Havalimanı yönetiminde girişimcilik yönelimi ile inovasyon performansı arasındaki ilişkiyi inceleyen bir diğer araştırma, yöneticilere, çalışanların girişimcilik yeteneklerini geliştirmeleri konusunda rehberlik etmenin yanı sıra, havalimanı inovasyon performansını artırmak için bilişim teknolojilerine ve öğrenme süreçlerine odaklanmalarını öneren stratejik bir model sunmaktadır (Samer vd., 2022). Çalışmada örneklem alınan Dubai havalimanı, sektördeki lider konumunu sürdürmek ve havalimanı deneyimini sürekli olarak geliştirmek amacıyla çeşitli yenilikçi teknolojileri benimsemektedir. Göçmenlik ve güvenlik işlemlerini hızlandırmak adına biyometrik teknolojiler, özellikle yüz tanıma sistemi gibi sorunsuz yolcu işleme yöntemleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bagaj taşıma süreçlerindeki verimliliği artırmak ve hataları en aza indirmek için otomatik sistemler ve robotik teknolojileri benimsenmiştir, bu da yolcuların bagaj işlemlerini daha hızlı ve hatasız bir şekilde gerçekleştirmelerine olanak tanımaktadır. Havalimanı, müşteri hizmetleri konusunda da yenilikçi çözümler sunmaktadır; yolculara gerçek zamanlı bilgilendirme ve yardım sağlamak amacıyla yapay zekâ destekli sohbet robotları ve sanal asistanlar gibi akıllı çözümleri aktif olarak kullanmaktadır.

Havalimanlarında genel olarak yukarıda ifade edilen çeşitli teknolojik yeniliklerin, yolcu memnuniyetinin artırılması amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Self-check-in kioskları, yolcuların bagajlarını etiketleyip bırakabilmelerini sağlayan bagaj bırakma makineleri, yüz tanıma ve parmak izi taraması da dâhil olmak üzere biyometrik teknolojileri kullanarak yolcu kimliklerini doğrulayan otomatik pasaport kontrol sistemleri (Kovynyov ve Mikut, 2019; Khan ve Efthymiou, 2021), yolcuların biniş kartlarını tarayarak manuel bilet kontrollerine ihtiyaç duymadan uçağa geçiş yapmalarını sağlayan self-servis biniş kapıları, gerçek zamanlı uçuş güncellemeleri, yol bulma ve kişiselleştirilmiş yolcu hizmetleri için mobil uygulamalar ve dijital platformlar, yolcular için rahat ve verimli bir alışveriş deneyimi sağlayan temassız ödeme sistemleri (Arslan, 2023), bu teknolojilere örneklerdir. Bu gelişmeler, havaalanlarının hizmet kalitesini artırarak yolcu deneyimini önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Havalimanlarında bir diğer inovasyonla ilişkilendirilen alan ise yeşil ve sürdürülebilir havalimanı uygulamalarının yaygınlaşmasıdır. Havalimanları kaynak verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik için elektrikli ve hibrit uçaklar, biyoyakıtlar, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimliliği, atık yönetimi, geri dönüşüm gibi konularda çalışmalar yürütmektedirler. Yakıt tüketimini azaltmayı ve karbon salınımının düşürülmesi hedefiyle elektrikli ve hibrit uçakların kullanılması daha çok havayolu işletmelerinin inovasyon stratejisi gibi düşünülse de alt yapı hizmet sağlayıcı olarak havalimanlarının elektrik şarj istasyonları, yer hizmet ekipmanları, pist ve taksi yolları, çalışanların eğitimi ve sertifikasyonu, güvenlik, yangın söndürme, çevre düzenlemeleri gibi hususlarda düzenlemeler yapmasını gerektirmektedir. Aynı şekilde, jet yakıtlarına kıyasla daha az sera gazı salınımı yaratan, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoyakıtların uçaklara sağlanması ya da havalimanı yer hizmetlerinde kullanılan araçların bu tür araçlara dönüştürülmesi havalimanlarının yakın zamanda daha fazla odaklanacağı konular arasındadır.

Güneş, rüzgâr, hidroelektrik veya jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin havalimanı terminal binalarında kullanımı, LED aydınlatmaların kullanımı, yalıtımı artırılmış binalar ve enerji tasarruflu ekipmanların kullanımı, yağmur sularının değerlendirilmesi, tuvalet ve benzeri alanlarda gri su kullanımı, çevre düzenlemesinde kullanılan bitki örtüsünün iklime

uygun seçilmesi ve uygun sulama teknolojilerinin kullanımı, havalimanlarının sürdürülebilirlik açısından çevresel etkiyi azaltma çalışmalarındandır.

Yenilenebilir enerjilerin havalimanında kullanımına örnek olarak Mumbai'deki Chhatrapati Shivaji Maharaj Havalimanı'nın, enerji ihtiyaçları için tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarına geçmesi ve karbondioksit emisyonlarını yılda 120.000 ton azaltacak rüzgâr türbinleri ve güneş panellerinden oluşan bir Hybrid SolarMil sistemi kurması gösterilebilir. Delhi'deki Indira Gandhi Uluslararası Havalimanı ise Hindistan'da tamamen hidro ve güneş enerjisi kaynaklarıyla çalışan ilk havalimanı olmuştur. Bu girişim, havalimanının 2030 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu elde etme hedefinin bir parçasıdır (Glenn, 2023a). Londra Gatwick Havalimanı %100 sertifikalı yenilenebilir elektrik tedarik ederek daha düşük karbon hedefine katkıda bulunmaktadır. Havalimanında bulunan atık işleme ve biyokütle üretim tesisi, organik atıkları biyokütle yakıtına dönüştürerek havalimanının Kuzey Terminali ve atık yönetim sahasına ısıtma ve su geri kazanım sistemine güç sağlamaktadır. Havalimanı, enerji verimliliği önlemleri için yüksek verimli aydınlatma, ısıtma/soğutma sistemleri ve LED aydınlatma kullanımını önemsemektedir. Ayrıca, araç filosunu elektrikli araçlarla değiştirmekte ve elektrikle çalışan yer servis ekipmanlarının kullanımını artırmaktadır (Glenn, 2023b).

Yeşil havalimanları, atık miktarını azaltmak ve geri dönüşümü artırmak için farklı programlar yürütmekte, atıkların kaynağında ayrıştırılması, geri dönüştürülmüş ürün kullanımı (havlu, tuvalet kağıtları ofis malzemeleri vb...), tek kullanımlık ürünlerin kaldırılması, inşaat atıklarının kullanımı ve ayrıştırılması, çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerin kullanımını gibi hususlarda düzenlemeler yapmaktadırlar. Uçaklardan, havalimanı tesislerinden ve yolculardan kaynaklanan atıkların doğru şekilde yönetilmesi, çevresel sürdürülebilirlik için giderek daha önemli hale gelmekte havalimanı yönetimi inovasyon stratejilerini bu başlıklar altında oluşturmaktadır.

San Francisco Uluslararası Havalimanı'nın, terminal binalarında geri dönüşüm kutularını kullanarak yolcuları ve personeli geri dönüşüme dahil etmesi ve toplanan atıkların uygun şekilde işlenmesini ve geri dönüştürülmesini sağlamak için geri dönüşüm şirketleri ile iş birliği yapıyor olması, günümüzde birçok havalimanının benimsediği uygulamalardandır. Bir başka örnek ise Amsterdam Schiphol Havalimanı'nın, inşaat projelerinde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını desteklemek, yeni malzemelere olan talebi azaltmak ve inşaat faaliyetlerinin çevresel etkisini en aza indirmek için geri dönüştürülmüş beton veya asfalt gibi malzemeleri kullanmasıdır (Kunz vd.,2015).

İnovasyonun sınıflandırılması başlığında ifade edilen inovasyon türleri açısından havalimanlarına yönelik inovasyon çalışmalarına bakıldığında ise; çoğunlukla ürün, süreç, organizasyonel inovasyon gibi konu başlıklarına odaklanıldığı görülmektedir. Kılıç vd., havalimanlarında inovasyonu konu alan çalışmaları incelemiş çoğunlukla artımsal inovasyona yer verildiğini (%70) hemen ardından radikal inovasyonu (%25) konu alan çalışmaların yer aldığını fakat yıkıcı inovasyonu konu alan çok az sayıda çalışma bulunduğunu ifade etmektedirler. Konusuna göre ise araştırmacıları ve alan uzmanlarını çalışılmamış bir alan olarak pazarlama inovasyonuna ve daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu düşünülen ürün/ hizmet inovasyonuna odaklanmaya davet etmektedirler. Birçok çalışmanın günlük rutin iyileştirmelerine odaklandığını ve yıkıcı inovasyonun çok zaman alan, çok kapsamlı değişiklikler gerektiren doğası gereği çok az çalışmada yer aldığını belirtmektedirler (Kılıç vd., 2021). Havaalanlarının inovasyon stratejilerinin geliştirilmesinde teorik olarak beklentileri karşılayacak olan yenilikler, araştırma sonuçlarında vurgulansa da havacılık sektöründe işleyişin, havacılık emniyet ve güvenliği için, ulusal ve uluslararası havacılık otoritelerince katı prosedürlerle yürütülüyor olması ve paydaşlarla (havayolları, bakım işletmeleri, yer hizmetleri vb..) bütünleşik iş yürütme zorunluluğu bu teorilerin uygulamaya dönüşüm hızını yavaşlatmaktadır. Yeni geliştirilen bir uçak tipini karşılayacak yeterlilikte havalimanı olup olmadığı ya da biyometrik teknolojilerinin kullanımının güvenlik mevzuatına uygunluğu gibi hususlar bu duruma örnek olarak verilebilir.

#### 4.Yöntem

İnovasyonun sınıflandırılmasına göre havalimanlarında inovasyon örnekleri, 2022 verilerine göre dünya genelinde uluslararası yolcu trafiği en yoğun ilk üç havalimanı üzerinden incelenmiştir. Uluslararası Havalimanları Birliği'nin verilerine göre havalimanı karşılaştırmaları Tablo 2.' de yer almaktadır (Aci.aero, 2023).



**Tablo 2.** Uluslararası Yolcu Trafiği En Yoğun Havalimanları

2022	2021	2019	Airport	2022	%change vs 2021	%change vs 2019
1	1	1	Dubai, AE (DXB)	66 069 981	127.0	-23.5
2	7	2	London, GB (LHR)	58 243 060	230.5	-23.4
3	3	3	Amsterdam, NL (AMS)	52 467 346	105.8	-26.8
4	5	6	Paris, FR (CDG)	51 763 569	128.9	-25.9
5	2	14	İstanbul, TR (IST)	48 521 725	83.3	22.6
6	4	8	Frankfurt, DE (FRA)	44 771 711	97.3	-29.0
7	9	11	Madrid, ES (MAD)	36 231 191	136.2	-19.3
8	6	15	Doha, QA (DOH)	35 726 721	101.8	-7.9
9	95	7	Singapore, SG (SIN)	31 902 000	952.9	-52.8
10	55	13	London, GB (LGW)	30 145 083	501.5	-30.1

İnovasyonun sınıflandırılmasında farklı kriterlerin göz önüne alındığı daha önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Çalışmamızda uluslararası yolcu trafiği açısından en yoğun ilk üç havalimanı inovasyon örnekleri, inovasyonun konusuna göre yapılan sınıflandırma dikkate alınarak incelenmiştir (Tablo 3.).

**Tablo 3.** İnovasyon Türlerine Göre En Yoğun Havalimanlarında İnovasyon

Konusuna Göre İnovasyon	Londra Heathrow	Amsterdam Schiphol	Dubai AE
<b>Ürün/ Hizmet İnovasyonu</b>	Mobil Robotlar (Ekipman muayene ve bakım görevleri) Self check-in kioskuları, Otomatik pasaport kontrol sistemleri, Self-driving araçlar (Otoparktan terminallere ulaşım sağlayan), Yeni nesil güvenlik sistemleri (biyometrik yüz tanıma). Otomatik bagaj taşıma sistemi (bagajların terminaller arasında taşınmasını sağlayan.)	Bagaj Kontrol Sistemleri (IOT Nesnelerin İnterneti) Self-check-in kioskuları Self servis bagaj bırakma Otonom Otobüs (Personelin kapılar arası dağıtımı) Otonom Bagaj Taşıma Yeni nesil güvenlik sistemleri (biyometrik yüz tanıma)	“Sara” yolcu hizmetleri robotu Zen Garden Sağlık Hizmetleri (spa ve dinlenme alanları, otel) Uyku Odaları Self-Servis Kiosklar Akıllı Kapılar ve Biyometrik Yüz Tanıma İris Tarama Self servis bagaj bırakma Otonom Araçlar
<b>Süreç İnovasyonu</b>	Yolcu Akışı düzenlemelerinde yapay zekâ kullanımı, Dijital uçuş bilgi panoları, Dijital yolcu hizmetleri mobil uygulamalar, web siteleri ve sosyal medya kanalları (uçuş takibi, terminallerdeki hizmetleri bulma, restoranlardan yemek sipariş etme vb....)	Schiphol Wilbur Akıllı Havalimanı Kısa Transfer Geçiş Kartı ve Noktası Turnaround İnsıght (Yapay zekâ uçak yer hizmetleri süreç takibi) Dijital yolcu hizmetleri mobil uygulamalar	Operasyonların Optimizasyonunda Yapay zekâ ve tahmin analitiği (yolcu akışlarını, bagaj işlemlerini önceden tahmin) Dijital Tabelalar ve İnteraktif Deneyimler

Tablo 3. Devam

<b>Organizasyonel İnovasyon</b>	Havalimanı yeni yönetim sistemi, (planlama, operasyon ve kaynak yönetimi gibi süreçlerini iyileştirecek şekilde). Sürdürülebilirlik çalışmaları kapsamında rüzgâr türbinleri, beton geri dönüşüm tesisi ve elektrikli araçların kullanımı, karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik çalışmalar, Çalışan eğitimi ve gelişimi (sürdürülebilirlik ya da yeni teknolojileri kullanma vb....) Havalimanı ortaklıkları (yeni hizmetler ve ürünler sunma)	Airport City yaklaşımı Akıllı Bina IBM Maximo, mobil iş emri yönetimi, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Dijital İkiz, Tahmine Dayalı Varlık Yönetimi (yapay zekâ) Gürültü azaltma önlemleri Sürdürülebilir enerji kullanımı ve yer operasyonları Schipol Bugün Uygulaması (Çalışan İş akışları) Schiphol Wilbur Akıllı Havalimanı	Gelecek Teknolojilerin test edilmesi (otonom araçlar, biyometrik geliştirmeler ve yapay zekâ odaklı hizmetler) Yapay zekâ ve Analitik (Veriye dayalı video yönetimi çözümleri, yapay zekâ kaynak tahsisi, proaktif güvenlik Sürdürülebilir enerji kullanımı Teknolojik Ortaklıklar/ İş birliği (AeroVect Otonom Arçlar)
<b>Pazarlama İnovasyonu</b>	Yeni pazarlama kampanyaları, Müşteri ödül sistemi, Dijital yolcu hizmetleri mobil uygulamalar, Ortaklıklar/Turizm iş birliği (havalimanını ziyaret eden turist sayısını artırma havalimanında bulunan otellerle konaklayan yolculara özel indirimler vb....) Komşuluk İlişkileri Yönetimi Yapay zekâ- ev asistanları entegrasyonu.	Privium Sık Seyahat Eden Yolcu Ayrıcalıkları My Schipol Kişisel Seyahat Asistanları Ortaklıklar/Turizm İş birlikleri Rijksmuseum Sergileri Self Servis Birimleri (24 saat erişilebilir)	İnteraktif Deneyimler (Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik) Dijital Signage (Gerçek zamanlı güncellemelerle uçuş durumu, kapı ayarları) Sık Seyahat Eden Yolcu Ayrıcalıkları

#### 4.1. Londra Heathrow Havalimanı

Londra Heathrow havalimanında, yolcu akışı düzenlemelerinde, gerçek zamanlı veri paylaşımı ve makine öğrenimini içeren bir programın kullanılması, yolcu deneyimini ve operasyon verimliliğini artırma potansiyeli taşımaktadır. Hangi yolcuların bağlantılı uçuşlarını kaçırma olasılığı olduğunu tahmin edebilen sistem, gecikmeleri azaltma ve operasyonel verimliliği artırma hususlarında fayda sağlayabilmektedir. Bu yolculara, iniş önceliği verilerek gecikmiş yolcuları beklemekten kaynaklanan bağlantılı uçuş gecikmelerini önlemeye yardımcı olabilmektedir. Ayrıca gelen yolcu sayısındaki artış öngörülerek personel sayısındaki değişiklikler de düzenlenebilmektedir (Guo vd., 2020).

Heathrow Havalimanı, yolcu akışını verimli bir şekilde yönetmek amacıyla biyometrik kendinden biniş kapıları uygulamaktadır. Aynı zamanda, yüz tanıma teknolojisi, havalimanının çeşitli noktalarında kullanılmaktadır. Bu inovasyonlar, pandemi döneminde sağlık ve güvenlik standartlarını artırmak için fiziksel temasın azaltılmasına yönelik çabalarla gelişmiştir (IFSEC Global, 2023). Havalimanında, sürücüsüz otonom (self driving) araçlarla, yeni hızlı bir transit biçimi de kullanılmaktadır. Bristol Üniversitesi'nden araştırmacılar tarafından tasarlanan bu sistem sayesinde bilim kurgu filmlerindeki kapsüller andıran araçlar, havalimanında terminaller için otobüs transferi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Bristol, 2023).

Bir diğer yenilik olarak havalimanında kullanılan mobil robotlar, bakım operasyonlarına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu robotlar, ekipman muayene ve bakım görevlerini yerine getirme, çeşitli havalimanı operasyonları hakkında bilgi toplama ve analiz yapma yeteneklerine sahiptir. Ayrıca, makinelerin durumunu kontrol ederek olası sorunları belirleme yetenekleri sayesinde, insan müdahalesine gerek kalmadan küçük sorunları çözebilme ve basit bakım görevlerini gerçekleştirebilme kapasitesine sahiptirler. Londra Heathrow Havalimanı'ndaki bu robotlar, bakım sürelerini azaltarak ve temel onarımlarla sorun giderme yetenekleriyle havalimanı operasyonlarının genel verimliliğini artırmaya yardımcı olmaktadır (Donadio vd., 2018).

Havalimanı, 2023'ten bugüne uyguladığı yeni dijital platformuyla seyahat deneyimini önemli ölçüde geliştirmektedir. Yenilikler arasında özellikle işaretlerle kişiselleştirilmiş navigasyon ve güvenlik geçişlerini, sıra sürelerini canlı olarak takip etme olanağı bulunmaktadır. Ayrıca, bagaj etiketleme özelliği ile ek cihazlar kullanmadan bagaj izleme imkânı sunulmaktadır. Müşteri ödül sistemi, kullanıcılara daha anlamlı ve özel avantajlar sunmak amacıyla güncellenmiştir. İletişim merkezlerinde kullanılan yapay zekâ, dijital iletişimi başarıyla yönetirken, otomatik yanıtlar veren sistemler yerine müşteri destek süreçlerini, soruna ilişkin bilgiler sunan makaleleri ile optimize etmektedir. Yakın gelecekte ise yapay zekâ ile ev asistanlarıyla daha fazla entegrasyon sağlanarak müşteri hizmetlerini daha da güçlendirmek hedeflenmektedir. Örneğin ev asistanları aracılığıyla, kullanıcılar seyahatleriyle ilgili soruları rahatlıkla sorabilirler. "Hangi saatte havalimanına gitmeliyim?" gibi sorulara hızlı ve doğrudan yanıtlar alabilirler. Londra Heathrow Havalimanı, bu inovatif yaklaşımıyla seyahat deneyimini daha kişiselleştirilmiş, verimli ve güvenli hale getirme hedefini sürdürmektedir (Gooding, 2023).

Sürdürülebilirlik ve inovasyon alanındaki öncü uygulamalarıyla dikkat çeken havalimanı, çevresel etkilerini azaltmak için rüzgâr türbinleri, beton geri dönüşüm tesisi ve elektrikli araçlar gibi uygulamaları hayata geçirmiştir. Bu uygulamalar, havalimanının karbon ayak izini önemli ölçüde (%90) azaltmıştır. Havalimanı yönetimi, komşuluk ilişkileri başlığında da inovatif uygulamalarda bulunmaktadır. Özellikle yerleşim yerlerine yakın havalimanlarının yarattığı çevresel etkileri dikkate alarak internet sitesi, e-posta ve mobil uygulama gibi çeşitli iletişim kanalları aracılığıyla komşularını bilgilendirmeye ve şikayetlerine çözüm bulmaya çalışmaktadır. Yerel Toplum İletişim Merkezi (BAS) üzerinden yürütülen çalışmalar, komşuların sıkıntılarını toplama, haritalama ve ilgili kurumlara raporlama gibi süreçleri içermektedir. Notifly uygulaması ve flighttracking.casper.aero sitesi, çevrede yaşayanlara gerçek zamanlı hava trafiği bilgilerini sunmaktadır. Bu uygulamalar, hava trafiğini izleme, hava şartlarını öğrenme ve gürültü deneyimlerini değerlendirme gibi özelliklerle çevresel etkileşimi azaltmaya yardımcı olmaktadır (Aslan, 2024). Aynı hedef doğrultusunda havalimanı, çevre ve gürültü kirliliğini önleyecek şekilde 2025'ten itibaren gece uçuşlarına izin verilmeyeceğini ve özel jetler ile aşırı gürültülü uçak modellerinin havalimanını kullanamayacaklarını duyurmaktadır.

#### 4.2. Amsterdam Schiphol Havalimanı

Bir diğer inovasyon öncüsü Amsterdam Schiphol Havalimanı, havalimanlarında güncel yaklaşımlar başlığında ifade edilen havalimanı şehri "Airport City" kavramını benimseyen ilk havalimanlarından. Havalimanı ve çevresinde iş, ziyaretçi ve yolcu tesislerinin geliştirilmesini içeren önemli bir inovasyon hamlesini başlatmıştır. Amsterdam Schiphol havalimanını sadece bir ulaşım merkezi değil, aynı zamanda çeşitli faaliyetlerin bir araya geldiği bir şehir olarak konumlanmıştır. Havalimanı, verimli ve güvenli havacılık operasyonları sağlamak adına yolcu hizmetleri, bagaj taşıma ve güvenlik konularında yenilikler uygulamıştır. Ayrıca gürültü azaltma önlemleri ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için başlatılan girişimlerle çevresel sürdürülebilirlik ve toplum ilişkileri konularında da önemli adımlar atmıştır. Sadece havacılıkla sınırlı kalmayarak, yolcu deneyimini iyileştirmeyi, yolcuların havalimanıyla daha derin bir etkileşim içinde olmalarını ve bağlılıklarını artırmalarını sağlamak amacıyla ilk kez "Privium" (sık seyahat eden yolcu öncelikleri) gibi havacılık operasyonları dışında yeniliğe odaklanan öncü işletmelerdendir (Rutten, 2008).

Havalimanı, akıllı havalimanı teknolojileri, ortaklıklar, havacılık dışı gelirleri artırıcı yenilikler, geri dönüşüm, sürdürülebilir enerji gibi konularda çalışmaktadır. Ayrıca, "Rijksmuseum" gibi terminal binalarında ziyaretçilerin ilgisini çekmek amacıyla özel salonlarda sergiler düzenlenmektedir (Bolat, vd., 2020).

Yolcu bagajlarının, küçük sensörler, kameralarla izlenmesi ve kontrolü için havalimanı, IoT (nesnelerin interneti) teknolojisinden faydalanmaktadır. Akıllı güvenlikle farklı boyutlardaki bagajların kontrol süreci daha hızlı ve güvenilir hale gelmektedir. Havalimanının geliştirdiği bir diğer inovatif çözüm ise “Turnaround Insights”dır. Uçakların kalkış stantlarında bulunan kameralardan alınan görüntüler, yapay zekâ teknolojisiyle analiz ederek kullanılabilir verilere dönüştürülmektedir. Böylece uçakların yer hizmetlerindeki çeşitli aşamaların ne kadar sürdüğünü ve ne zaman tamamlanacağını tahmin etmek mümkün hale gelmektedir. Yakıt ikmali, pushback, temizlik ve yemek hizmetleri gibi çeşitli süreçlere ilişkin veriler gecikmeleri önlemeye yaramaktadır. Yolcu hizmetleri açısından havalimanında sağlanan bir diğer kolaylaştırıcı yöntem de kısa aktarma süresi olan yolcular içindir. Kısa Bağlantı Geçişi aktarma uçuşuna yetişmek için bir saatten az süreleri olan, güvenlik ve pasaport kontrollerinden geçmek zorunda olan yolcular için planlanmıştır. Kısa Bağlantı Geçişi adı verilen bir kart ile kısa transfer süresi olan yolcular kontrollerden daha hızlı geçebilmektedirler. Bu kart ile yolcular, Kısa Bağlantı Şeridini kullanarak güvenlik ve pasaport kontrolleri için sıra beklemek zorunda kalmamaktadırlar.

Havalimanı süreçlerini optimize etmek için Wilbur Wright’ dan esinlenerek geliştirilen Schiphol Wilbur, havalimanındaki tüm operasyonel süreci kontrol altına almak ve verimli, şeffaf ve güvenli süreçleri sağlamak için geliştirilmiş gerçek zamanlı bir kontrol panelidir. Wilbur, gerçek zamanlı verilere dayanarak havalimanı süreçlerini öngörebilme ve düzenleme imkânı sunmaktadır. Örneğin, terminaldeki sensörler aracılığıyla toplanan verileri kullanarak sıcaklık ve yolcu yoğunluğunu değerlendirmektedir. Veri odaklı planlama ve iş birimi temsilcileri arasında bir “gerçek zamanlı veri” oluşturarak, tüm ekiplerin aynı hedef doğrultusunda çalışmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, kamera görüntüleri ve deneyim tabanlı planlamadan ziyade, geçmiş verilere ve mevcut duruma dayalı olarak gerçek zamanlı öneriler sunarak, etkili kapasite kullanımını optimize eder. Havalimanı çalışanları açısından ise Schiphol Bugün uygulamasının organizasyonel anlamda yenilik getirdiği söylenebilir. Uygulama, birim yöneticilerine her günün gerçek zamanlı bilgilerini ve çalışma durumunu sunmaktadır. Çalışanlar o gün hangi bölgede, hangi ekiple çalışacaklarını uygulama sayesinde daha önce görebilmekte ve değişikliklerden (Körük planlaması, teknik arızalar, inşaat çalışmaları, reklam çekimleri vb..) haberdar olmaktadır.

Schiphol Havalimanı, akıllı bina teknolojileri ve inovasyonu başarıyla birleştirerek, yolcu deneyimini optimize etmek için tasarlanmış akıllı ofislerle dikkat çekmektedir. Bu akıllı binalar, enerji tüketimi ve hava basıncı gibi verileri sürekli izleyerek, ortaklarla iş birliği yaparak enerji tasarrufu sağlamak için doğrudan ve hedefe yönelik adımlar atma kapasitesine sahiptir. Ayrıca, havalimanındaki varlık bakımı alanında tahmine dayalı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Gelişmiş veri analizi ve modelleme teknikleri sayesinde, varlıkların olası arızalarını önceden tahmin ederek proaktif önlemler alınmaktadır. IBM Maximo kullanımı, mobil iş emri yönetimi, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Dijital İkiz teknolojisi gibi inovatif uygulamaları bir araya getirerek, varlık yönetiminde yeni bir bakış açısı sağlamaktadır. Havalimanı, iş emirlerinin anında ve her yerde alınabilmesini sağlamak için IBM Maximo Mobile'i kullanmaktadır. Böylece, uzman ekiplerin hızla müdahale etmelerine ve varlık bakımını daha etkili hale getirmelerine olanak tanımaktadır. Ayrıca, sensör verileri ve makine öğrenimi modelleri kullanılarak gerçekleştirilen tahmine dayalı varlık bakımı, varlık arızalarının önceden tespit edilmesini ve süreçlerin otomatikleştirilmesini sağlamaktadır (Schiphol Airport News, 2020 ; IBM Blog, 2019).

Yolcular için geliştirilen My Schiphol kişisel seyahat asistanı uygulaması ise kişiselleştirilmiş seyahat önerileri, güncel uçuş bilgileri, güvenlik kontrol bekleme süreleri, mağazalar, restoranlar, havayolu salonları ve diğer terminal olanakları gibi bilgileri, otopark yer ayırtma, indirim kuponları gibi ayrıcalıklar sunmaktadır (Schiphol Airport, 2024). Havalimanı aynı zamanda Self Servis Birimleri ile yolculara kişiselleştirilmiş hizmetler de sunmaktadır. 24 saat erişilebilir bir hizmet sunmayı hedefleyen Self Servis Birimleri, etkileşimli ekranlar ile 17 dilde hizmet vermektedir. Bu birimler seyahat edenlere biniş kartlarını tarayarak uçuş bilgilerini kontrol etme, kat planları ve sıkça sorulan soruları kullanarak kapılarını bulma gibi işlemleri kolaylaştırmaktadır. Yolcular, etkileşimli ekranlar aracılığıyla terminal içinde konumlarına özel bilgileri anında elde edebilirler. Ayrıca, bu birimlerde video görüşme seçeneği de sunularak daha karmaşık sorular için Schiphol çalışanlarına doğrudan ulaşma imkânı tanınmaktadır. Kullanıcılarla yapılan anketlere göre, bu yeni hizmet birimleri, yolcular tarafından olumlu bir şekilde değerlendirilmekte ve memnuniyetle karşılanmaktadır (Schiphol Airport, 2023a).

2050 yılına kadar dünyanın en sürdürülebilir havalimanlarından olma hedefi güden havalimanı grubu, bu vizyonun bir parçası olarak daha sürdürülebilir, sıfır emisyonlu yer hizmetleri operasyonu planlamaktadır. 2050 yılına kadar tüm araç filolarını otonom, emisyonu olmayan araçlarla değiştireceğini ve tüm ilgili süreçlerin otomatik hale getirileceğini öngörmektedir. Aynı hedef doğrultusunda apronda otonom otobüsleri test etmektedir. Otonom otobüs programı, personelin güvenlik kontrol noktalarından iş istasyonlarına güvenli bir şekilde taşınmasına odaklanmıştır. Ekim 2023'ten Mart 2024'e kadar gerçekleşecek test aşamasında çeşitli denemeler yapılacak proje sonunda mevcut ulaşım ağının yanında yolculara yeni, alternatif bir hizmet olarak sunulacaktır (Schiphol Airport, 2023b).

#### 4.3. BAE Dubai Havalimanı

Dubai Uluslararası Havalimanı yolculara sağlık merkezi başta olmak üzere otel, ulaşım, dinlenme salonları, alışveriş merkezleri, masaj salonları, çocuk oyun alanları, sigara içme odaları, özel toplantı salonları, yönetici uçuş, karşılama hizmetleri, modern bagaj taşıma sistemleri gibi olanaklar sunmaktadır (Albeshr, vd., 2015). Havalimanı içindeki otel bünyesinde yer alan Sağlık Kulübü'nde, yüzme havuzu, sauna, buhar odası ve bilardo gibi özel hizmetler sunulmaktadır. Yolcuların doğayla iç içe bir atmosferde vakit geçirebilmelerine olanak tanıyan "Zen Garden" ise ortasında akarsu bulunan bir bahçedir (Dubai Airport, 2018). Havalimanında aktarma yapmak için zamanları olan veya dinlenme ihtiyacı duyan yolcular için özel tasarlanmış İskandinav tarzı minimalist uyku odaları da mevcuttur (Bolat, vd., 2020).

Biyometrik teknolojinin entegrasyonu ile kullanılan Akıllı Kapılar (Smart Gates), pasaport ve belge kontrollerini ortadan kaldırarak hızlı ve güvenli uçağa biniş ve inişi mümkün kılmaktadır. Terminallerde bulunan Self-Servis Kiosklar, check-in işlemlerini, bagaj teslimatını ve koltuk seçimini kolaylaştırarak bekleme sürelerini azaltmaktadır. Dijital tabelalar, gerçek zamanlı bilgileri yolculara iletirken seyahat deneyimini daha etkin hale getirmektedir. Havalimanı, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi interaktif teknolojilere de başvurarak havalimanında geçirilen zamanı daha eğlenceli hale getirmektedir. Ayrıca, gelecek teknolojileri (otonom araçlar, biyometrik geliştirmeler ve Yapay zekâ odaklı hizmetler) test etme konusunda da öncü bir rol oynamaktadır (Dubai International Airport, 2023).

Yolcuların havalimanında önce işlemlerini tamamlamasını sağlayan online check-in uygulamaları, self-servis bagaj bırakma işlemlerini hızlandıran entegre kiosklar, bekleme sürelerini azaltırken yolculara daha fazla kontrol sağlamaktadır. Yolcu hizmetlerinde bir diğer önemli yenilik olarak 2023 yılı içerisinde check-in işlemlerinin "Sara" adlı robot tarafından yapılması örnek gösterilebilir. Havalimanındaki Emirates terminalinde check-in kontuarlarında bulunan Sara, yüz tanıma teknolojisi sayesinde yolcuların yüzlerini taranmış pasaportlarla eşleştirebilmektedir. Check-in işlemlerinde yardımcı olan robot, yolcuları bagaj bırakma alanına yönlendirmekte ve biniş kartlarını basabilmektedir (Gulf News, 2023).

Havalimanında güvenlik önlemlerini güçlendirmek amacıyla biyometrik yüz tanıma ve iris tarama gibi gelişmiş sistemler içeren akıllı güvenlik uygulamaları bulunmaktadır. Bu teknolojiler, verimliliği olumsuz etkilemeden güvenlik kontrol süreçlerini hızlandırmaktadır. Havalimanında, yapay zekâ ve tahmin analitiği, operasyonların optimizasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Yolcu akışları, bagaj işlemleri ve uçak hareketleri önceden tahmin edilerek sıklığı yönetmek, kaynakları verimli bir şekilde tahsis etmek ve gecikmeleri en aza indirmek için proaktif önlemler almayı mümkün kılmaktadır. Akıllı havalimanı yönetimi, havaalanlarında IoT ile akıllı sensörlerin kullanılmasını içermektedir. Akıllı havalimanlarında pist koşullarından bakım ihtiyaçlarına kadar bir dizi faktör izlenerek gerçek zamanlı veriler alınarak analiz edilmektedir. Böylece, öngörücü bakım hizmetleri kullanılmakta, güvenlik standartları artırılmakta ve genel olarak operasyonların etkin ve güvenli yürütülmesi kolaylaşmaktadır (Airspace Aviation, 2023).

Akıllı havalimanı inovasyonu ile entegre kapılar ve ileri teknoloji kullanımı, bekleme sürelerini önemli ölçüde azaltarak kesintisiz seyahat deneyimine katkı sağlamaktadır. Bagaj sistemlerindeki operasyonel verimlilik, bagajların %92'sinin 45 dakika içinde teslim edilmesini sağlayarak pandemi sonrası seyahat deneyimini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Veriye dayalı video yönetimi çözümleri, akıllı havalimanları için temel bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. Bu çözümler, gerçek zamanlı bilgiler sağlayarak yolcu

akışı, güvenlik ve operasyonlara dair anlık içgörüler sunmaktadır. Yapay zekâ ve analitik kullanımı, verimli kaynak tahsisi, proaktif güvenlik önlemleri operasyonel verimliliği artırmaktadır (Zawya, 2023).

İnovasyonun sınıflandırılmasında ifade edildiği gibi herhangi bir inovasyon türünün beraberinde diğer türleri de doğurabileceği unutulmamalıdır. Buradaki önemli husus işletmenin inovasyonun planlamasında neyi hedeflediğidir. Biyometrik sistemlerin kullanılması gibi ürün/hizmet inovasyonuna verilecek örnekler, fiziksel belgeler veya biniş kartları gibi geleneksel tanımlama yöntemlerine olan bağımlılığı azaltırken sahtecilik gibi hususlarda manuel belge kontrollerine olan ihtiyacı azaltarak güvenlik kontrol noktalarında daha sorunsuz ve verimli bir akış sağlayacak ve işletmenin operasyonel süreçlerinde de yeniliğe neden olacaktır. Daha detaya inildiğinde ise havalimanında bekleme süresi kısalan yolcunun memnuniyeti, bu havalimanına pazarlama süreçlerinde de avantaj sağlayacaktır.

## 5. Sonuç

Havalimanları, geleneksel altyapı hizmeti sağlayan birimlerden, çeşitli iş alanlarını bünyesinde barındıran, çok işlevli, karmaşık ve ekonomik değerler yaratan işletmeler haline gelmiştir. Bu değişim, havalimanlarının ticarileşmesinde ve havacılık dışı gelirlerini artırmada, yenilikçi yaklaşımlar benimsenmesini gerektirmektedir. Araştırmaya konu olan havalimanlarının benimsedikleri inovasyon stratejileri ile sektöre öncülük ettikleri görülmektedir. Self check-in kioskları, otomatik pasaport kontrol sistemleri, biyometrik teknolojiler, akıllı güvenlik uygulamaları gibi daha yaygın hale gelmeye başlayan uygulamaların yanında, kişisel sanal asistanlar, bakım ve hizmet robotları, otonom araçlar, gerçek zamanlı veri paylaşımı ve analizi, makine öğrenimi, operasyonların optimizasyonunda yapay zekâ kullanımı ve tahmine dayalı varlık yönetimi gibi nadir teknolojilerin de uygulandığı görülmektedir. Sreenath vd., (2021), yeni teknolojilerin araştırmamıza konu olduğu üzere çoğunlukla yüksek yolcu sayılarına sahip, karlı havalimanlarında kullanıldığını ve sürdürülebilir uygulamalara yönelik yeni teknolojilerin benimsenmesinde daha yavaş bir eğilim gözlemlendiğini ifade etmektedir. Artar ve Türkay (2021), Londra Heathrow havalimanında uygulanan yeni teknolojileri sınıflandırırken insansız operasyon araçlarının henüz kullanım alanı bulmadığını belirlemişken çalışmamızda ise otonom self servis araçların günümüzde kullanıldığı görülmektedir. Bu durum yoğun havalimanlarının ürün ve süreç inovasyonuna kısa sürede uyum sağladıklarının bir diğer göstergesidir.

Yeşil ve sürdürülebilir havalimanı uygulamaları kapsamında, farklı alanlarda inovasyona odaklanıldığı görülmektedir. Kaynak verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik için elektrikli ve hibrit yer hizmetleri ekipmanlarının kullanımını teşvik etmek, biyoyakıtların ve terminal binalarında güneş, rüzgâr, hidroelektrik veya jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak, gürültü yönetimi, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları geliştirmek, çalışanları sürdürülebilirlik konusunda eğitmek ve sertifikalandırmak gibi çeşitli adımlar atılmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik gereksinimleri, yolcu memnuniyeti ve verimlilik gibi hedeflerin yanı sıra, koronavirüs gibi küresel salgınlar, terörizm, siber güvenlik gibi hususlar, havalimanlarını kalıcı, proaktif çözümler üretmeye yönelik inovatif yaklaşımlar geliştirmeye zorlamaktadır.

Havalimanlarında inovasyonun maliyetleri azaltma, müşteri ve personel memnuniyetini artırma, gelir optimizasyonu ve genel olarak havalimanı performansını iyileştirme konularında olumlu etkileri olduğu birçok çalışmada vurgulanmaktadır (Khadonova vd., 2020 ; Baki vd., 2022; Çankaya, 2020; Euring vd., 2017; Poulaki vd., 2021). Bununla birlikte inovasyonun, teknoloji maliyetleri, çalışan uyumu, güvenlik, genel maddi kaynak yetersizliği ve siber güvenlik gibi bazı zorlukları da barındırdığı görülmektedir. Bölgesel farklılıklar, müşteri ihtiyaçları, gelir düzeyi ve demografik yapı gibi faktörler yeniliklerin uygulanma süreci ve şekillerinde farklılıkları gerektirmektedir (Gürsel vd., 2023).

İnovasyondan gerçek anlamda fayda sağlayabilmek için, havalimanı paydaşlarının veri paylaşımının ötesine geçerek ve stratejik planlamadan operasyonel karar almaya kadar genişletilmiş bir iş birliği sürecine girmesinin gerekliliği de vurgulanmaktadır (Euring vd., 2017; Archi vd., 2023). İnovasyonu etkin bir şekilde uygulamak için farklı inovasyon tipolojilerinin dengeli bir karışımını sürdürerek

bütünleşik bir stratejik yaklaşımın geliştirilmesi önemlidir. İnovasyondan faydalanabilmek için havalimanlarının, tasarım ve planlanmasından, ürün hizmet inovasyonuna, işletme yönetiminden, çalışanların eğitilmesine ve tüm paydaşların farkındalığının ve katılımının sağlanmasına kadar çok yönlü perspektifleri kapsayan stratejilere odaklanılmalıdır. Havalimanları, inovatif fikirleri teşvik eden bir kurum kültürü oluştururken bu fikirleri uygulamaya koymak için gerekli kaynakları ve süreci sağlayamaz ya da yapay zekâ destekli bakım ya da varlık yönetimi sistemi kurarken çalışanları bu sistemi kullanmak için eğitmez ise beklenen verimlilik elde edilemez. İnovasyonu başarılı bir şekilde uygulamak için havalimanlarının, hedeflerine ve kaynaklarına göre en uygun stratejileri belirlemeleri gerekmektedir. Rekabet koşulları, teknolojik gelişmeler ve finansal olanaklar gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

İnovatif çözümlerin başarılı bir şekilde uygulanması için etkili stratejilerin geliştirilmesi, sektörde yer alan tüm paydaşların ortak çabalarıyla sağlanabilir. Bununla birlikte, havacılık sektörünün, ulusal ve uluslararası birçok kuruluş tarafından sıkı yönerge ve talimatlarla düzenlenip denetleniyor olması inovasyonun gerçekleşme sürecini geciktirebilmektedir. Endüstrideki tutuculuk en önemli engellerden biridir (Cognizant, 2015'dan akt. Cam ve Durmaz, 2018). İnovasyonun, havalimanlarında başarılı bir şekilde uygulanması, stratejik ve uzun vadeli bir yaklaşım gerektirmektedir. Sıkı düzenlemelerin yarattığı çeşitli engellere rağmen, bu çalışmada vurgulandığı üzere inovasyon yaklaşımının daha kapsamlı bir şekilde sınıflandırılması, havalimanı bağlamında inovasyonun anlaşılmasını ve uygulanmasını kolaylaştıran kapsayıcı bir çerçeve sağlayabilir. İncelenen havalimanları tarafından benimsenen inovatif uygulamalar, diğer havalimanlarında benzer çözümleri benimsemeye teşvik ederek havacılık sektöründe inovasyonu destekleyebilir.

#### **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**

**Aci.aero.** (2023). Erişim: 09 Ekim 2023, <https://aci.aero/2023/04/05/international-travel-returns-top-10-busiest-airports-in-the-world-revealed/>

**Ahmadu, A.** (2021). Exploring how incremental innovation can be used to enhance growth in the Nigerian online grocery business. Doctoral dissertation, *London School of Commerce, University of Wales Trinity Saint David*.

**Airspace Aviation LLC.** (2023). *The Digitization of Dubai's Airport*. LinkedIn Pulse. <https://www.linkedin.com/pulse/digitization-dubais-airport-airspaceaviation-ut90c>

**Albeshr, H., & Ahmad, S. Z.** (2015). Service innovation by Dubai International Airport: the battle to remain competitive. *Emerald Emerging Markets Case Studies*, 5(1), 1-18.)

**Amabile, T. M.** (1996). *Creativity in Context: Update to The Social Psychology of Creativity*. Westview Press.

**Archi, Y., Benbba, B., Zhu, K., El Andaloussi, Z., Pataki, L., & Dávid, L. D.** (2023). Mapping the Nexus between Sustainability and Digitalization in Tourist Destinations: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 15(12), 9717.



**Arslan, S.** (2023). Havalimanlarında İnsansız Hizmet Süreçleri: Koşullu Süreç Analizi ile Bir Uygulama. *Akademisyen Kitabevi*.

**Artar, O., & Türkay, U. İ.** (2021). Havacılık sektöründe havalimanlarının dijital dönüşümü. *Working Paper Series Dergisi*, 2(1), 86-97.

**Aslan, S.** (2024). Akıllı Havaalanları Komşularıyla Nasıl Geçiniyor? LinkedIn Pulse. Erişim: 20 Ocak 2024, <https://www.linkedin.com/pulse/akıllı-havalimanları-komşularıyla-nasıl-geçiniyor-serdar-aslan-kpuuf/>(Erişim tarihi: 08.03.2024).

**Atalık, Ö., Akan, A.G.Ş. ve Bakır, A.G.M.** (2019). Havacılık 4.0: Havayolu ve Havaalanı Endüstrisinde Güncel Endüstri 4.0 Uygulamalar. *II. International Conference on Empirical Economics and Social Science (ICEESS' 19)*, June 20-21-22, 2019, Bandırma, Turkey (s. 879).

**Baki, T., Noordin, B., Mohamed, N., Idrus, S. M., & Abd Rasid, S. Z.** (2022). Digitalization of Airside Operations Process to Improve Airport Operations For The Case of Malaysia Airports. *In 2022 4th International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA)* (pp. 130-134). IEEE

**Bayar, T.** (2023). Havayolu Taşımacılığında İnovasyon. İçinde D. Koçak ve A. Polater (Eds.), *Havayolu Taşımacılığına Güncel Bir Bakış* (s. 151). *Eğitim Yayın Evi*.

**Bolat, E., & Durmaz, V.** (2020). Havalimanlarında Yeni Dönem Aerotropolis Yapılar: İstanbul Havalimanı Örneği. *Journal Of Awareness*, 5(3), 375-390.

**Bristol Üniversitesi.** (2023). Heathrow Personal Rapid Transit. Bristol Üniversitesi

**Caetano, M., & Alves, C. J. P.** (2019). Innovation system in air transport management. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 16, e201916010.

**Cam, A.C. ve Durmaz, V.** (2018). Dijital Havacılık: Güncel Uygulamalarla Gelecekteki Yolcu Deneyimleri. *Electronic Turkish Studies*, 13(26), 251-266

**Chesbrough, H. W.** (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. *Harvard Business Press*.

**Christensen, C. M.** (1997). The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. *Harvard Business Review Press*.

**Cognizant,** (2015). Digital and Personal: Future-Proofing Airport Operations and Services, <https://www.cognizant.com/whitepapers/Digital-and-Personal-FutureProofing-Airport-Operations-and-Services-codex1404.pdf> (Erişim Tarihi:19.05.2018)

**Çankaya, D.** (2020). Havacılıkta Yaygınlaşan Yapay Zeka, API ve Büyük Veri Temelli Çözümler. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), 465-473.

**Damanpour, F.** (1991). Organizational Innovation: A Meta-Analysis of Effects of Determinants and Moderators. *Academy of Management Journal*, 34(3), 555-590

**Donadio, F., Frejaville, J., Larnier, S., & Vetault, S.** (2018). Artificial intelligence and collaborative robot to improve airport operations. *In Online Engineering & Internet of Things: Proceedings of the 14th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2017, held 15-17 March 2017, Columbia University, New York, USA* (pp. 973-986). Springer International Publishing.

**Dubai International Airport.** (2023). Innovation & Technology. Dubai Airport. Erişim: 15 Kasım 2023, <https://airport.online/dubai-airport/en/dubai-airport-innovation-and-technology>

- Elçi, Ş., Karataylı, İ., & Karaata, S.** (2008). Bölgesel inovasyon merkezleri: Türkiye için bir model önerisi. *TUSİAD Yayınları*.
- Euring, E., Popa, D., Popa, A., & Codescu, M. M.** (2017). Smart Airport – Structure And Elements. *Buletinul Agır, Supliment*, 3
- Glenn, B.** (2023a). Towards Carbon Neutral Airport Operations Through the Use of Renewable Energy Sources: The Case of Chhatrapati Shivaji Maharaj and Indira Gandhi International Airports, India. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, doi: 10.22161/ijeab.82.9
- Glenn, B.** (2023b). An Assessment of Sustainable Energy Management at a Major United Kingdom Based Hub Airport: A Case Study of London Gatwick Airport. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, doi: 10.22161/ijeab.82.1
- Gooding, M.** (2023). Heathrow Airport's digital transformation explained. Tech Monitor. Erişim: 01 Ocak 2024, <https://techmonitor.ai/movers-and-shakers/heathrow-airport-digital-transformation>.
- Graham, A.** (2011). The objectives and outcomes of airport privatization. *Research in Transportation Business & Management*, 1, 3-14.
- Gulf News.** (2023). Robots to aid passengers at Emirates check-in and boarding [Video]. YouTube. Erişim: 15 Aralık 2023, <https://www.youtube.com/watch?v=wflU7wqdhTE>:
- Guo, X., Grushka-Cockayne, Y., & De Reyck, B.** (2020). London heathrow airport uses real-time analytics for improving operations. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 50(5), 325-339.
- Güçkıran D.G.** (2021). İnovasyon türleri <https://medium.com/türkiye/inovasyon> türleri 50a Erişim tarihi: 15.01.2024
- Gürsel, S., Demir, R., & Rodoplu, H.** (2023). The effect of digitalisation on sustainability and smart airport. *International Journal of Sustainable Aviation*, 9(1), 26-40.
- Harrison, A., Popovic, V., & Kraal, B.** (2014). The future passenger experience: A shift from physical to virtual design. In *Proceedings of the International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research (KEER) 2014* (pp. 1-10). Eindhoven University of Technology.
- IBM Blog.** (2019). Schiphol - World's leading digitally innovative airport. Erişim: 08 Eylül 2023, <https://www.ibm.com/blog/schiphol-worlds-leading-digitally-innovative-airport/>
- IFSEC Global.** (2023). Heathrow installs biometric gates to improve customer experience while maintaining security standards. Erişim: 24 Kasım 2023, <https://www.ifsecglobal.com/access-control/heathrow-installs-biometric-gates-to-improve-customer-experience-while-maintaining-security-standards/>
- Jarach, D.** (2017). Airport marketing: Strategies to cope with the new millennium environment. *Routledge*.
- Kasarda, J.** (2001). From Airport City to Aerotropolis. *Airport World*, Volume 6- Issue 4, 42-45.
- Khadonova, S. V., Ufimtsev, A. V., & Dymkova, S. S.** (2020). Digital Smart Airport System Based on Innovative Navigation and Information Technologies. In *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH)* (pp. 1-6). IEEE

- Khan, N., & Efthymiou, M.** (2021). The use of biometric technology at airports: The case of customs and border protection (CBP). *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2), 100049.
- Kılıç, S., Üçler, Ç., & Martin-Domingo, L.** (2021). Innovation at airports: A systematic literature review (2000–2019). *Aviation*.
- Knight, W. A.** (1967). A Descriptive Model of the Intrafirm Innovation Process. *Journal of Business*, 40(4), 478-496.
- Kovynyov, I., & Mikut, R.** (2019). Digital technologies in airport ground operations. *NETNOMICS: economic research and electronic networking*, 20(1), 1-30.
- Kunz, J. G., De Conto, S. M., & Demori, M. K.** (2015). A geração de resíduos sólidos aeroportuários e suas interfaces com o turismo: o caso do Aeroporto Hugo Cantergiani, Caxias do Sul-RS, Brasil. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 9(1), 59-75.
- Kuyucak, F., & Kaya, E.** (2007). Havaalanlarında değer odaklı yönetim yönelimli bilgi sistemlerinin kullanılması ve Atatürk Havalimanı terminal işletmeciliği uygulaması (Doctoral dissertation, *Anadolu University*. Turkey.
- Narongou, D., & Sun, Z.** (2022). Driving Sustainable Airport Business with Big Data Analytics Services: A Multichannel Approach. *In Proceedings of the 6th International Conference on Big Data Research* (pp. 48-54).
- OECD** (2005). Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition. Paris: OECD Publishing.
- Poulaki, I., Paraschi, E. P., Marinakos, K., Avramopoulos, A., & Makrygianni, S.** (2021). Digital Technologies And Innovation In Airport Services: A Benefit Model Approach. *Journal Of Air Transport Studies*, 12(2), 41-63.
- Price, R., Wrigley, C., Matthews, J. H., & Dreiling, A.** (2014). A digital airport experience: design-led innovation in support of airport strategy. *In Proceedings of 19th DMI: Academic Design Management Conference* (pp. 2710–2729). The Design Management Institute.
- Rutten, A.** (2008). Amsterdam Airport Schiphol: Leader in Innovation for Over 40 Years. *International Airport Review*, 12(6).
- Samer, Ali, Al-shami., Alia, S., M., Alsuwaidi., Suriati, Akmal.** (2022). The effect of entrepreneurial orientation on innovation performance in the airport industry through learning orientation and strategic alignment. *Cogent Business & Management*, doi: 10.1080/23311975.2022.2095887
- Schiphol Airport News.** (2020.). New innovations at Schiphol. Schiphol Airport News. Erişim: 17 Ekim 2023, <https://news.schiphol.com/new-innovations-at-schiphol/>
- Schiphol Airport.** (2023a). High-tech travel at Schiphol. Schiphol Airport. Erişim: 10 Ocak 2024, <https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/high-tech-travel-at-schiphol>
- Schiphol Airport.** (2023b). Autonomous Bus Initiative. Schiphol Airport. Erişim: 10 Ocak 2024, <https://www.schiphol.nl/en/innovation/blog/autonomous-bus-initiative/>
- Schiphol Airport.** (2024). Innovation. Schiphol Airport. <https://www.schiphol.nl/en/innovation/>: <https://www.schiphol.nl/en/innovation/> Erişim 08.01.2024
- Schumpeter, J. A.** (1934). The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. *Harvard Economic Studies*, 46.

**Silver, S.** (2023). A Study on Technology Innovation at Incheon International Airport: Focusing on RAISA. *Studies in computational intelligence*, doi: 10.1007/978-3-031-19608-9\_15

**Sreenath, S., Sudhakar, K., & Yusop, A. F.** (2021). Sustainability at airports: Technologies and best practices from ASEAN countries. *Journal of environmental management*, 299, 113639

**Şengür, F. K.** (2017). Havaalani İşletmeciliğinde Yeni Eğilimler: Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(4), 751-766.

**Thomond, P., & Lettice, F.** (2002). Understanding and enabling disruptive innovation. In *Proceedings of the British Academy of Management Annual Conference* (pp. 9-11).

**Tidd, J., & Bessant, J.** (2013). United Nations Development Programme. (2010). Innovation: Applying Knowledge in Development. Retrieved from Erişim: 08 Ocak 2024, <https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/innovation.html>

**Tushman, M. L., & Anderson, P.** (2018). Technological discontinuities and organizational environments. In *Organizational innovation* (pp. 345-372). Routledge.

**Utterback, J. M.** (1994). How companies can seize opportunities in the face of technological change. *Mastering the Dynamics of Innovation*.

**West, J., & Bogers, M.** (2017). Open innovation: current status and research opportunities. *Innovation*, 19(1), 43-50.

**Zawya.**(2023).*Dubai-Airports-Passenger-Experience*. Erişim: 01 Ocak 2024, <https://www.zawya.com/en/business/aviation/technology-elevates-dubai-airports-passenger-experience-gbnj4x8u 6>.

## Research Article

# The Impact of Increasing Traffic Volume on Autonomous Vehicles in Roundabout

Ali Almusawi <sup>\*1</sup>, Mustafa Albdairi <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor, Çankaya University, Department of Civil Engineering, Yukarıyurtçu Mah. Mimar Sinan Cad. No: 4, Etimesgut, 06790 Ankara, Türkiye.

<sup>2</sup> Master's Student, Çankaya University, Department of Civil Engineering, Yukarıyurtçu Mah. Mimar Sinan Cad. No: 4, Etimesgut, 06790 Ankara, Türkiye.

\*Correspondence: [ali.almusawi@cankaya.edu.tr](mailto:ali.almusawi@cankaya.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1449009

**Abstract:** This study employs the PTV VISSIM simulation software to investigate the impact of increasing traffic volumes on conventional vehicles and autonomous vehicles (AVs) with distinct behavioural traits: cautious, normal, and aggressive. The simulations cover a range of traffic volumes, from 100 to 600 vehicles, and measure the effects on travel time, emissions (CO, NOX, VOC), and fuel consumption. The results show that with increasing penetration rates of AVs, travel times generally decrease, with aggressive AVs achieving the shortest times, followed by normal, then cautious AVs. Emissions and fuel consumption also tend to decrease as the penetration rate of AVs increases. Notably, the results demonstrate that aggressive AVs excel in reducing travel time, while normal AVs consistently balance between efficiency and reduced emissions, and cautious AVs emphasize safety and lower emissions. Despite the differing behavioural traits, all AV types exhibit a marked improvement over conventional vehicles in terms of travel time, emissions, and fuel consumption. At every penetration rate, AVs lead to shorter travel times and lower emissions, with aggressive AVs being the most efficient, followed by normal and then cautious AVs. These findings emphasize the potential benefits of integrating autonomous vehicles into transportation networks. They suggest that optimizing AV behaviour, depending on the context and objectives, can lead to more efficient, environmentally friendly traffic systems. The study offers valuable insights for policymakers, urban planners, and researchers aiming to leverage the distinct strengths of each AV behaviour to create a more sustainable and efficient future for autonomous transportation.

**Keywords:** PTV VISSIM, Autonomous Vehicles, Roundabout Intersections, Travel Time, Emissions, Fuel Consumption.

## Dönel Kavşakta Artan Trafik Hacminin Otonom Araçlar Üzerindeki Etkisi

**Özet:** Bu çalışma, PTV VISSIM benzetim programını kullanarak, artan trafik hacimlerinin sürücülü araçlarla birlikte farklı davranış özelliklerine sahip otonom araçlar (AV'ler) üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Benzetimler, 100 ile 600 araç arasındaki çeşitli trafik yoğunluklarını içermekte ve seyahat süreleri, emisyonlar (CO, NOX, VOC) ve yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini ölçmektedir. Sonuçlar, AV'lerin yayılım oranlarının artmasıyla birlikte genellikle seyahat sürelerinin azaldığını göstermektedir; agresif AV'ler en kısa süreleri elde ederken, bunu normal ve ardından dikkatli AV'ler takip etmektedir. Emisyonlar ve yakıt tüketimi de AV'lerin yayılım oranı arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Özellikle, agresif AV'lerin seyahat süresini azaltmada etkili olduğu, normal AV'lerin verimlilik ve azalan emisyonlar arasında tutarlı bir denge sağladığı ve dikkatli AV'lerin güvenlik ve düşük emisyonları vurguladığı görülmektedir. Davranış özelliklerindeki farklılıklara rağmen, tüm AV türleri geleneksel araçlara kıyasla belirgin bir iyileşme sergilemektedir. Her yayılım oranında, AV'ler daha kısa seyahat süreleri ve daha düşük emisyonlara yol açmaktadır; agresif AV'ler en verimli olurken, bunu normal ve ardından dikkatli AV'ler takip etmektedir. Bu bulgular, otonom araçların ulaşım ağlarına entegre edilmesinin potansiyel faydalarını vurgulamaktadır. Bu durum, hedeflere ve koşullara bağlı olarak AV davranışlarının optimize edilmesinin, daha verimli ve çevre dostu trafik sistemlerinin oluşmasına olanak tanıyabileceğini öne sürmektedir. Çalışma, her bir AV davranışının farklı güçlü

\* Corresponding author.

E-mail address: [ali.almusawi@cankaya.edu.tr](mailto:ali.almusawi@cankaya.edu.tr)

ORCID: 0000-0002-4507-2492, 0009-0002-6673-363X

Received 08.03.2024; Received in revised form 27.04.2024; Accepted 06.05.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY 4.0.

yönlereinden yararlanarak otonom ulaşım için daha sürdürülebilir ve verimli bir gelecek yaratmayı amaçlayan politika yapıcılar, şehir planlamacıları ve araştırmacılar için değerli içgörüler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** PTV VISSIM, otonom araçlar, dönel kavşaklar, seyahat süresi, emisyonlar, yakıt tüketimi.

---

\* Corresponding author.

E-mail address: ali.almusawi@cankaya.edu.tr

ORCID: 0000-0002-4507-2492, 0009-0002-6673-363X

Received 08.03.2024; Received in revised form 27.04.2024; Accepted 06.05.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Introduction

With the rapid development of autonomous vehicle technology, integrating these vehicles into our transportation networks represents a significant paradigm shift. As we advance toward this new era, it is crucial to understand how varying autonomous vehicle behaviours impact critical aspects such as travel time, exhaust emissions, and fuel consumption to achieve effective urban planning and sustainable mobility patterns (Khreis et al., 2016; Maheshwari & Axhausen, 2021; Sultana et al., 2021). This study employs PTV VISSIM simulation software to investigate the complex interactions between increased traffic volume and the introduction of autonomous vehicles exhibiting cautious, normal, and aggressive driving behaviours at roundabouts.

Circular intersections, commonly known as roundabouts, have garnered attention as efficient traffic management solutions. In the face of increasing vehicular traffic, exploring the implications of this surgeon's conventional traffic patterns and the evolving presence of assertive autonomous vehicle fleets becomes imperative. This investigation aims to comprehend the intricate dynamics at play, considering the circular layout of roundabouts and the evolving landscape of modern transportation (Mesionis et al., 2020; Shahandasht et al., 2019). Aggressive autonomous vehicles, which exhibit assertive driving behaviour, represent a unique dimension of this analysis (Dey et al., 2017; Karjanto et al., 2017; Schrum et al., 2024).

Using PTV VISSIM simulation tools enables a controlled and systematic exploration of different traffic scenarios (Alghamdi et al., 2022; Ullah et al., 2021). Analysing performance metrics under both autonomous vehicles and their conventional counterparts amid fluctuating traffic volumes adds to a more comprehensive understanding of the challenges and opportunities inherent in the dynamic evolution of the transportation landscape. This investigation seeks to uncover insights that inform urban planning, traffic management, and the ongoing discourse surrounding the integration of autonomous vehicles into our transportation networks.

The significance of this study lies in its unique contribution to the discourse on integrating and optimizing autonomous vehicles (AVs), distinguishing it from prior investigations. Unlike existing literature, this study enriches the ongoing dialogue and holds the potential to make substantial national and international scholarly contributions. Focusing on a roundabout in Kirkuk, Iraq, this research provides a comprehensive analysis of traffic dynamics, specifically examining the influence of increasing traffic volume and various types of AVs on travel time, emissions, and fuel consumption.

Our observations reveal distinct trends across different AV types—aggressive, normal, and cautious. Aggressive AVs exhibit the highest efficacy in reducing average travel time, particularly at higher penetration rates. Normal AVs strike a balance between efficiency and emissions reduction, while cautious AVs, prioritizing safety, also contribute to reduced travel time, albeit to a lesser extent compared to aggressive AVs, while demonstrating the lowest emissions among AV types.

## 2. Literature review

The study (Zhao et al., 2022) highlights growing interest in the environmental impact of connected automated vehicles (CAVs) on fuel consumption and traffic emissions. Studies confirm the ability of autonomous vehicles to significantly reduce environmental burdens, attributing this improvement to enhanced coordination of traffic flow and improved driving behaviours. Notably, CAV advantages are more pronounced in signalized intersections, critical points in urban traffic networks. Methodologically, car-following models (IDM, ACC, CACC) and the VT-micro model are commonly employed, showcasing the diverse approaches to assess CAVs' environmental implications effectively.

The examination by (Cao & Zöldy, 2020) delves into evaluating autonomous vehicle behaviour and its consequential effects on fuel consumption and emissions. Initial testing is conducted at ZalaZONE's roundabout, setting the stage for further comprehensive assessments. The study concentrates on autonomous vehicle conduct within roundabouts, scrutinizing driving behaviour, in-vehicle systems,

roundabout parameters, and diverse vehicle types. Employing a method integrating driving cycles into the existing EPA test program, the authors meticulously construct scenario models using various simulation environments to capture the nuanced dynamics of autonomous vehicles in real-world scenarios.

The potential of vehicle platoons in reducing energy consumption and emissions is recognized (Zhang et al., 2023), with a distinction noted between ad hoc platoon formation, which increases fuel consumption and emissions, and dedicated Connected Autonomous Vehicle (CAV) lane strategies, which enhance fuel economy and emission reduction. This paper systematically investigates fuel consumption and emissions in mixed-traffic environments, emphasizing the negative impact of ad hoc platoon formation on these environmental metrics. Utilizing an extended cellular automaton model, the study compares ad hoc platoon formation and dedicated CAV lane strategies. Notably, the research underscores that while most platooning studies have traditionally focused on pure CAV environments, the detrimental effects of ad hoc platoon formation on fuel consumption and emissions remain a critical consideration in mixed traffic scenarios.

The investigation conducted by researchers into the effects of autonomous vehicles (AVs) on single-lane roundabouts has yielded noteworthy findings (Boualam et al., 2023). A microsimulation model and field data from a Győr, Hungary, roundabout were used in the study to investigate several scenarios with varying rates of AV market penetration. Approximately 10% and 20% more leg capacities might be achieved, respectively, with AV penetration rates of 20% and 40% in the traffic flow. Additionally, it was discovered that these AVs significantly decreased excessive queue durations. Researchers have studied how incorporating autonomous vehicles (AVs) into roundabouts affects traffic safety and road design (Deluka et al., 2018). The study has examined situations where autonomous vehicles (AVs) and conventional vehicles (CVs) are mixed using a microsimulation model and field data from roundabouts in Croatia. They have provided insights into possible changes in roundabout safety with the advent of autonomous vehicles (AVs) through simulations using the Surrogate Safety Assessment Model (SSAM). This emphasizes the necessity of revising road design guidelines and investigating potential safety measures to allow for the incorporation of autonomous vehicles.

This study not only adds valuable insights to the ongoing discourse on the integration and optimization of autonomous vehicles but also has the potential to make substantial contributions to both national and international literature. By providing a comprehensive analysis of traffic dynamics at a Kirkuk, Iraq, roundabout, the study offers valuable insights into the impact of increasing traffic volume and different types of autonomous vehicles (AVs) on travel time, emissions, and fuel consumption. The observed trends reveal that all autonomous vehicle types aggressive, normal, and cautious show a reduction in travel time, with aggressive AVs demonstrating the greatest capacity to minimize average travel time, particularly at higher penetration rates. Normal AVs provide a balanced approach, combining efficiency and reduced emissions. Cautious AVs, designed with safety as a priority, also contribute to reduced travel time, albeit to a lesser extent compared to aggressive AVs, while achieving the lowest emissions among the AV types. This comprehensive perspective underscores the sustainability benefits of integrating various types of autonomous vehicles into existing traffic systems. It also demonstrates the value of customizing AV behaviour to achieve specific outcomes whether it's reduced travel time, increased safety, or lower emissions. The role of these autonomous vehicles is emerging as a key factor in shaping the future of mobility. The findings presented here provide actionable insights for policymakers, urban planners, and researchers worldwide, showing how a mix of AV behaviours can contribute to a more efficient and environmentally friendly traffic system. As autonomous vehicle technology continues to evolve, this study's outcomes serve as a foundation for further research and decision-making on a global scale, contributing to a more sustainable future in transportation.



### 3. Materials and methods

#### 3.1. Study Location

The intersection is situated in Kirkuk, Iraq. The roundabout's specific design characteristics and layout are illustrated in Figure 1 and Figure 2, providing a visual reference for readers to comprehend the intricacies of the study location.



**Figure 1.** Illustration of the geometric layout and design features of the selected roundabout in Kirkuk, Iraq. Sources: PTV VISSIM Model.



**Figure 2.** A visual representation highlighting the geographical context and placement of the roundabout within Kirkuk, Iraq. Sources: PTV VISSIM Model.

#### 3.2. Data Collection

The data collection process for this study involved obtaining traffic volume data through a randomized approach, ranging from a total traffic volume of 100 to 600 vehicles, as illustrated in Table 1. This diverse range of traffic volumes aims to comprehensively assess the impact of varying traffic conditions on the selected roundabout in Kirkuk, Iraq.

**Table 1.** Studied Traffic Volume at the roundabout Intersection.

Bound	vehicles	Movement Ratio		
		Right	Straight	Left
North	25-150	0.333	0.333	0.333
East	25-150	0.333	0.333	0.333
South	25-150	0.333	0.333	0.333
West	25-150	0.333	0.333	0.333

Source: Processed data by author (2024).

### 3.3. Autonomous Vehicle and Human Behaviour Modelling

This study uses sophisticated modelling techniques to simulate the behaviours of autonomous vehicles (AVs) with distinct driving styles, aggressive, normal, and cautious alongside human-driven vehicles within a designated roundabout intersection. The modelling intricately captures the dynamics of these various driving styles, including their acceleration, deceleration, and decision-making processes. This comprehensive approach allows for an in-depth analysis of the potential impact each type of AV behaviour has on travel time, emissions, and fuel consumption.

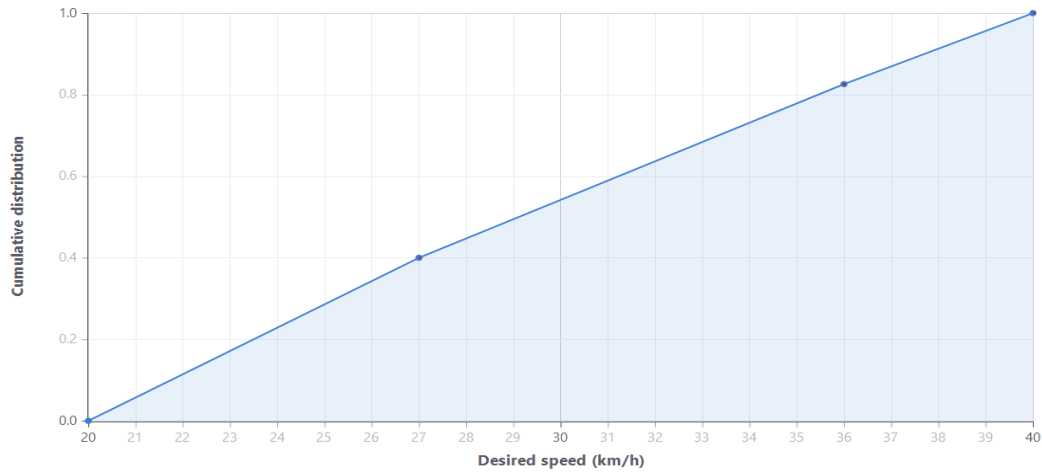
Aggressive AVs exhibit assertive driving behaviours, such as high acceleration, rapid deceleration, and quick decision-making, typically designed for efficiency and speed. In contrast, normal AVs represent a balanced approach, with moderate driving patterns and decision-making processes that emphasize both efficiency and safety. Cautious AVs prioritize safety, with more gradual acceleration, conservative deceleration, and careful decision-making processes.

The study incorporates human behaviour modelling to simulate the driving patterns and decision-making processes of human drivers within the same traffic environment. This parallel modelling approach facilitates a comparative analysis, providing a nuanced understanding of how autonomous vehicles with differing driving styles interact with conventional human-driven vehicles. The insights gained from this analysis can help understand the implications of integrating autonomous vehicles into existing traffic systems, focusing on balancing efficiency, safety, and emissions.

PTV VISSIM, the software used in this study, excels at modelling both human and autonomous vehicle behaviours within traffic simulations. It accurately replicates the intricate dynamics of human drivers, including acceleration, deceleration, and decision-making, while also providing a robust framework for simulating the unique behaviours and interactions of autonomous vehicles. This dual modelling functionality positions PTV VISSIM as a comprehensive tool for studying the complex interactions between human-driven and autonomous vehicles in various traffic scenarios. This makes it invaluable for researching and understanding the evolving landscape of transportation, where autonomous vehicles with different driving behaviours increasingly play a significant role.

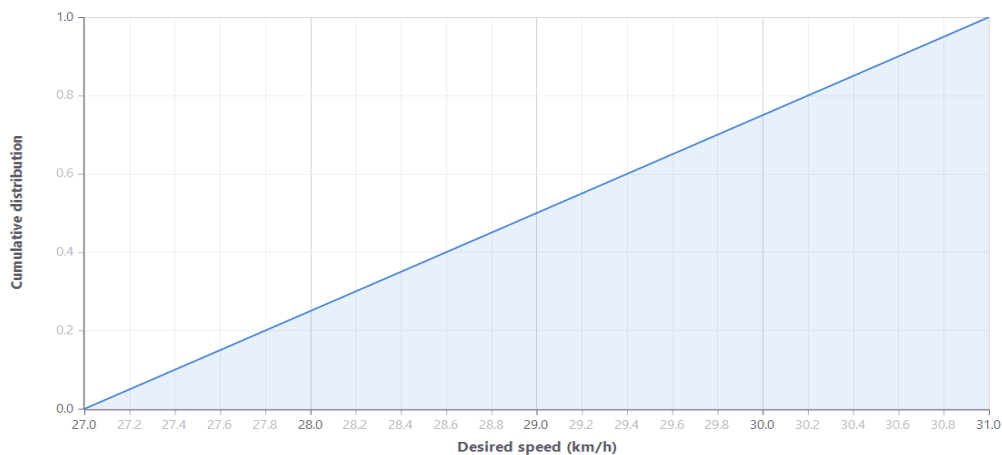
### 3.4. Speed Distributions

For the human-driven scenario, speeds were set randomly within the simulated traffic environment. The distribution of speeds for the human-driven scenario is visually depicted in Figure 3, providing insight into the varied velocities considered in the study.



**Figure 3.** Intended Velocity Distribution of Conventional Passenger Vehicles. Sources: PTV VISSIM Model

In contrast, for the automated vehicles scenario, speed profiles were also established randomly to simulate the behavior of autonomous vehicles. The representation of these autonomous vehicle speeds is captured in Figure 4, offering a visual reference for the distribution of speeds in the automated scenarios. The randomized nature of both traffic volume and speed settings ensures a robust and unbiased exploration of the effects of increasing traffic volume on travel time, emissions, and fuel consumption in diverse driving scenarios.



**Figure 4.** Intended Velocity Distribution of Autonomous Vehicles. Sources: PTV VISSIM Model

### 3.5. Car Following Models and Lane Change Models

The study delves into the nuanced realms of autonomous vehicle (AV) behavior, specifically focusing on aggressive driving mode. The background of AV aggressive behavior modeling involves intricate simulations that consider factors such as acceleration, deceleration, and decision-making processes unique to aggressive driving scenarios. This modeling is crucial for understanding the potential impact of aggressive AVs on traffic dynamics and overall system efficiency. In parallel, the study also incorporates human behavior modeling, simulating the driving patterns and decision-making processes of human drivers within the same traffic environment. This comparative analysis allows for a comprehensive assessment of how aggressive AVs interact with conventional human-driven vehicles, providing insights into potential scenarios that may unfold in mixed-traffic settings.

VISSIM incorporates two implementations of the Wiedemann car-following model: Wiedemann '99 and Wiedemann '74. While they share similarities, the primary distinction lies in the number of adjustable parameters, with Wiedemann '99 offering greater flexibility than the relatively fixed parameters in Wiedemann '74. The Wiedemann '99 model in VISSIM is calibrated based on driving behavior

characteristics (CC), determined by regime categorization thresholds. As PTV Group (2018) outlined, Table 2 provides descriptions and default values for the CC parameters applicable to human-driven vehicles (HVs). Users can modify these parameters, including the number of observed vehicles, look-ahead distance, average standstill distance, and the additive and multiplicative components of the desired safety distance.

**Table 2.** Parameters Influencing Driving Behaviour in Car Following Models Within PTV VISSIM.

Wiedemann 99 following model parameters	AV cautious	AV normal	AV aggressive	Human
CC0 Standstill distance	1.50 m	1.50 m	1.00 m	1.50 m
CC1 Gap time distribution	1.5 s	0.9 s	0.6 s	0.9 s
CC2 'Following' distance oscillation	0.00 m	0.00 m	0.00 m	4.00 m
CC3 Threshold for entering 'Following'	-10.00	-8.00	-6.00	-8.00
CC4 Negative speed difference	-0.10	-0.10	-0.10	-0.35
CC5 Positive speed difference	0.10	0.10	0.10	0.35
CC6 Distance dependency of oscillation	0.00	0.00	0.00	11.44
CC7 Oscillation acceleration	0.10 m/s <sup>2</sup>	0.10 m/s <sup>2</sup>	0.10 m/s <sup>2</sup>	0.25 m/s <sup>2</sup>
CC8 Acceleration from standstill	3.00 m/s <sup>2</sup>	3.50 m/s <sup>2</sup>	4.00 m/s <sup>2</sup>	3.50 m/s <sup>2</sup>
CC9 Acceleration at 80 km/h	1.20 m/s <sup>2</sup>	1.50 m/s <sup>2</sup>	2.00 m/s <sup>2</sup>	1.50 m/s <sup>2</sup>

Sources: PTV VISSIM Model.

In VISSIM, lane changes are differentiated into two categories: the first pertains to essential lane changes, which occur in response to lane reduction, incidents, or when a vehicle needs to access a lane to turn at an upcoming intersection based on its destination. The associated parameter for necessary lane changes includes the maximum allowable deceleration for both the vehicle initiating the lane change and the trailing vehicle on the new lane. As the PTV Group (2018) outlined, Table 3 details the parameters related to necessary lane changes in VISSIM, providing their respective descriptions. The second type involves discretionary lane changes, wherein a vehicle changes lanes to achieve higher speed or secure more space. This process of discretionary lane changes follows a three-step sequence, commencing with the decision of whether to accept the lane change. Subsequently, the vehicle evaluates the feasibility of the intended lane change and executes a gap acceptance control (Osman, 2023).

**Table 3.** Parameters Governing Lane Change Behaviour in PTV VISSIM.

Parameter's	AV cautious	AV normal	AV aggressive	Human
Advanced merging	on	on	on	on
Cooperative Lane change	on	on	on	off
Safety distance reduction Factor	1.00 m	0.60	0.75	0.60 m
Min clearance (front/rear)	1.00 m	0.50 m	0.50 m	0.50 m
Maximum deceleration for Cooperative braking	-2.50 m/s <sup>2</sup>	-3.00 m/s <sup>2</sup>	-6.00 m/s <sup>2</sup>	-3.00 m/s <sup>2</sup>

Sources: PTV VISSIM Model.

### 3.6. Simulation Scenarios

The study encompasses 90 simulation scenarios, each tailored to specific combinations of traffic volume and penetration rates. the variations in traffic volume span from 100 to 600 vehicles, capturing diverse traffic conditions. Additionally, different penetration rates, ranging from 0% to 100%, are illustrated in Table 4.

**Table 4.** Overview of Study Scenarios.

Scenarios	Total Traffic Volume	Penetration of AV Cautious	Penetration of AV Normal	Penetration of AV aggressive	Penetration of Human
No. 1	100 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 2	100 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 3	100 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 4	100 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 5	100 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %

No. 6	200 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 7	200 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 8	200 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 9	200 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 10	200 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %
No. 11	300 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 12	300 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 13	300 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 14	300 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 15	300 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %
No. 16	400 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 17	400 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 18	400 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 19	400 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 20	400 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %
No. 21	500 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 22	500 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 23	500 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 24	500 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 25	500 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %
No. 26	600 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 27	600 Vehicle	25 %	0 %	0 %	75 %
No. 28	600 Vehicle	50 %	0 %	0 %	50 %
No. 29	600 Vehicle	75 %	0 %	0 %	25 %
No. 30	600 Vehicle	100 %	0 %	0 %	0 %
No. 31	100 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 32	100 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 33	100 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 34	100 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 35	100 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 36	200 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 37	200 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 38	200 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 39	200 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 40	200 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 41	300 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 42	300 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 43	300 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 44	300 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 45	300 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 46	400 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 47	400 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 48	400 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 49	400 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 50	400 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 51	500 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 52	500 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 53	500 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 54	500 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 55	500 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 56	600 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 57	600 Vehicle	0 %	25 %	0 %	75 %
No. 58	600 Vehicle	0 %	50 %	0 %	50 %
No. 59	600 Vehicle	0 %	75 %	0 %	25 %
No. 60	600 Vehicle	0 %	100 %	0 %	0 %
No. 61	100 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 62	100 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 63	100 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 64	100 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 65	100 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %

No. 66	200 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 67	200 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 68	200 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 69	200 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 70	200 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %
No. 71	300 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 72	300 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 73	300 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 74	300 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 75	300 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %
No. 76	400 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 77	400 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 78	400 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 79	400 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 80	400 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %
No. 81	500 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 82	500 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 83	500 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 84	500 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 85	500 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %
No. 86	600 Vehicle	0 %	0 %	0 %	100 %
No. 87	600 Vehicle	0 %	0 %	25 %	75 %
No. 88	600 Vehicle	0 %	0 %	50 %	50 %
No. 89	600 Vehicle	0 %	0 %	75 %	25 %
No. 90	600 Vehicle	0 %	0 %	100 %	0 %

Source: Processed data by author (2024).

## 4. Results and discussion

### 4.1 Average Travel Time

An analysis of average travel time reveals compelling insights into the impact of different types of autonomous vehicles (AVs) on travel efficiency. The study examined the effects of varying traffic volumes and penetration rates of cautious, normal, and aggressive AVs on travel time, with the results presented below. As the penetration of AVs increases, there is a consistent reduction in average travel time across all traffic scenarios.

For a traffic volume of 100 vehicles per simulation, the average travel time for human-driven scenarios was 21.35 minutes. With a 25% penetration of cautious AVs, the average travel time decreased to 19.25 minutes, and when the penetration rate reached 100%, it dropped to 13.71 minutes. For normal AVs, the average travel time ranged from 19.27 minutes at 25% penetration to 13.61 minutes at 100%. Aggressive AVs displayed similar trends, with average travel times decreasing from 19.26 minutes at 25% penetration to 13.61 minutes at 100%. These trends are illustrated in Figure 5a.

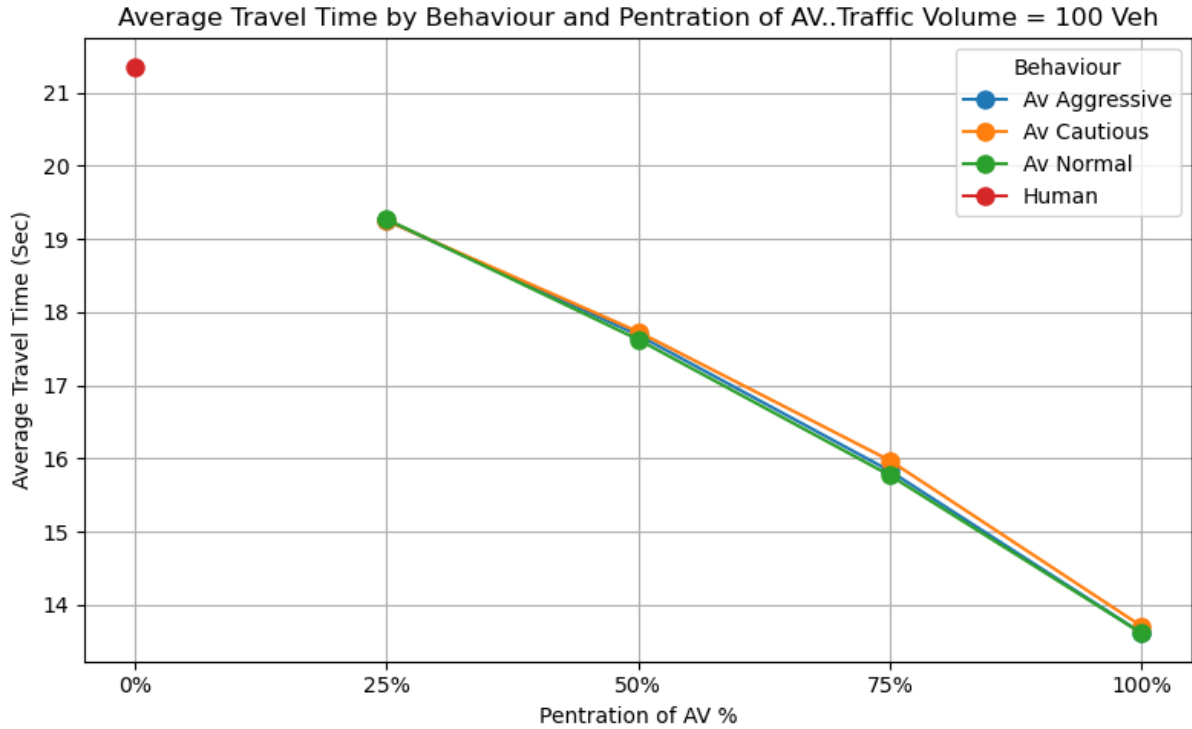
As traffic volumes increased to 200 vehicles per simulation, the average travel time for human-driven vehicles was 21.33 minutes. With cautious AVs at 25% penetration, the average travel time was 19.51 minutes, while at 100% penetration, it dropped to 13.89 minutes. Normal AVs showed a similar pattern, with average travel times ranging from 19.61 minutes at 25% to 13.84 minutes at 100% penetration. For aggressive AVs, the average travel time varied from 19.52 minutes at 25% penetration to 13.75 minutes at 100%. These results are illustrated in Figure 5b.

In higher traffic volumes of 300 vehicles per simulation, human-driven scenarios exhibited an average travel time of 21.64 minutes. With cautious AV penetration, the time decreased to 14.12 minutes at 100%. Normal AVs yielded similar results, with an average time of 13.83 minutes at 100% penetration. For aggressive AVs, the average travel time decreased from 19.68 minutes at 25% penetration to 13.86 minutes at 100%. This is illustrated in Figure 5c.

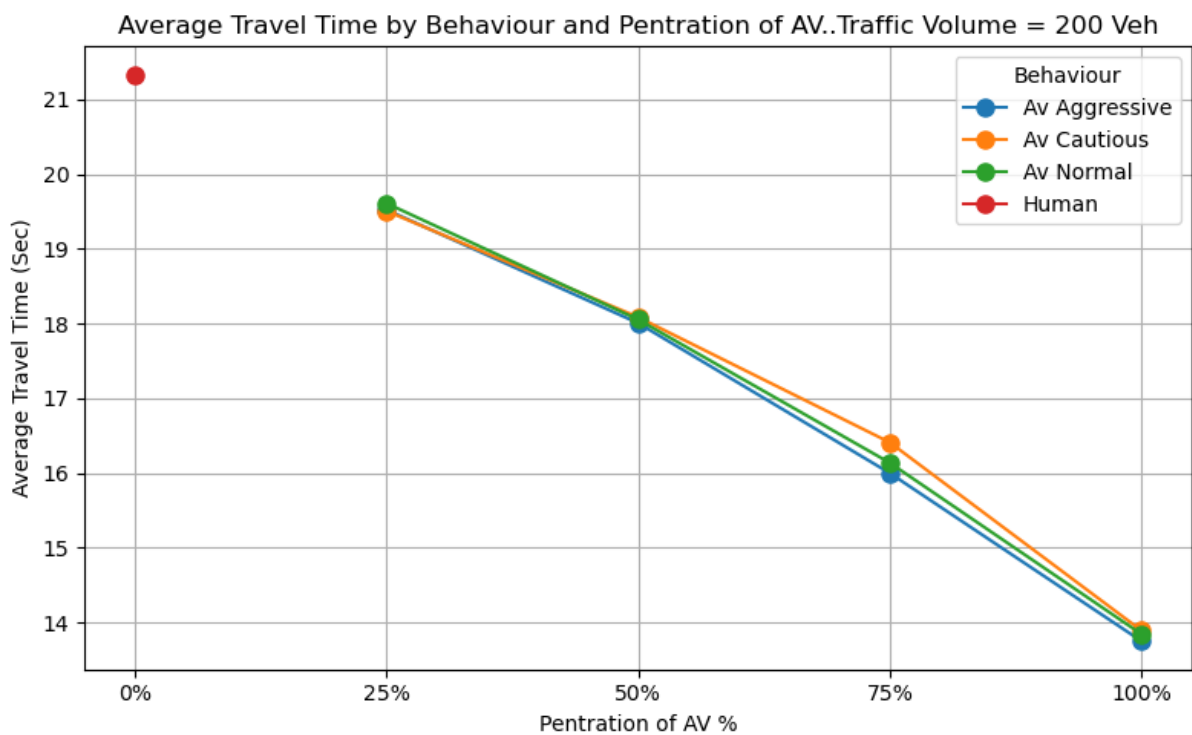
The trends continue as traffic volumes increase to 400, 500, and 600 vehicles per simulation. In each scenario, higher penetration rates of all AV types consistently reduce average travel times compared to human-driven scenarios. The notable reduction in travel time, particularly at higher AV penetration



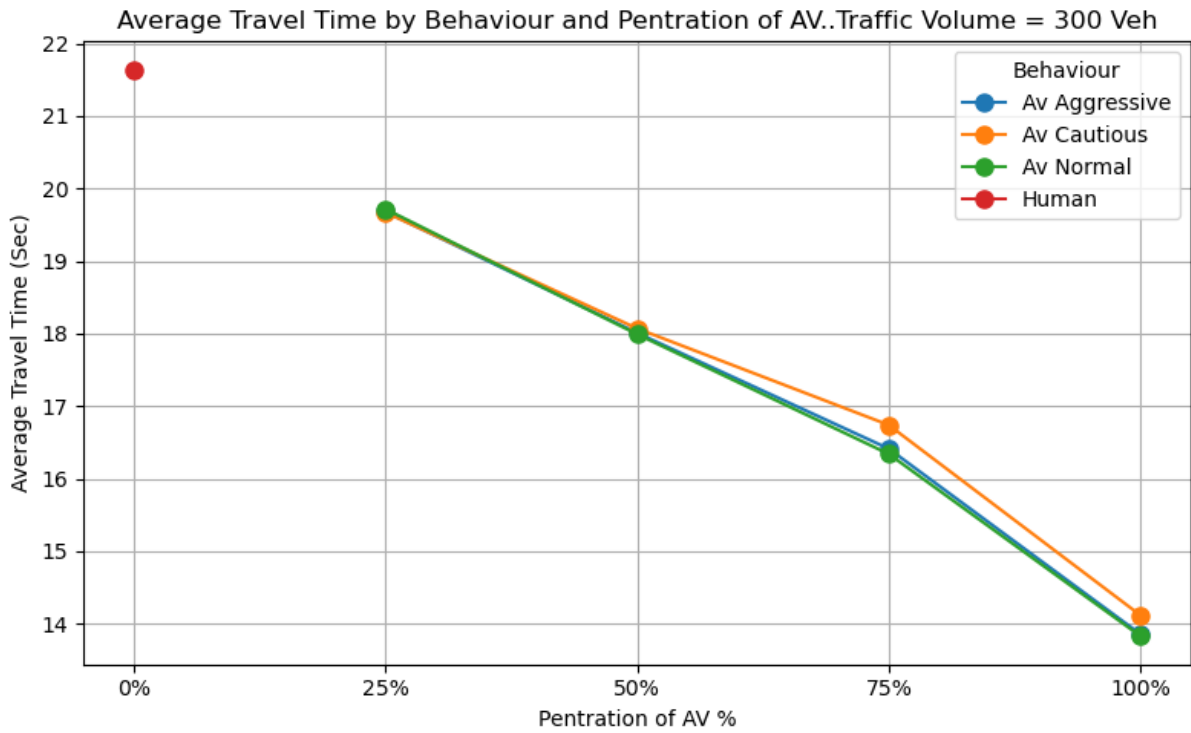
rates, underscores the transformative potential of integrating autonomous vehicles into existing traffic systems. These results are illustrated in Figures 5d, 5e, and 5f, demonstrating the potential benefits of autonomous vehicle technology at various traffic volumes. The obtained results align with the outcomes of a study by (Hamadneh & Esztergár-Kiss, 2021), highlighting a notable reduction in travel time and a decline in traditional car usage due to autonomous vehicles (AVs). Analysing AVs' impact on travel behaviour and modal share, both studies underscore the pivotal role of the value of travel time (VOT).



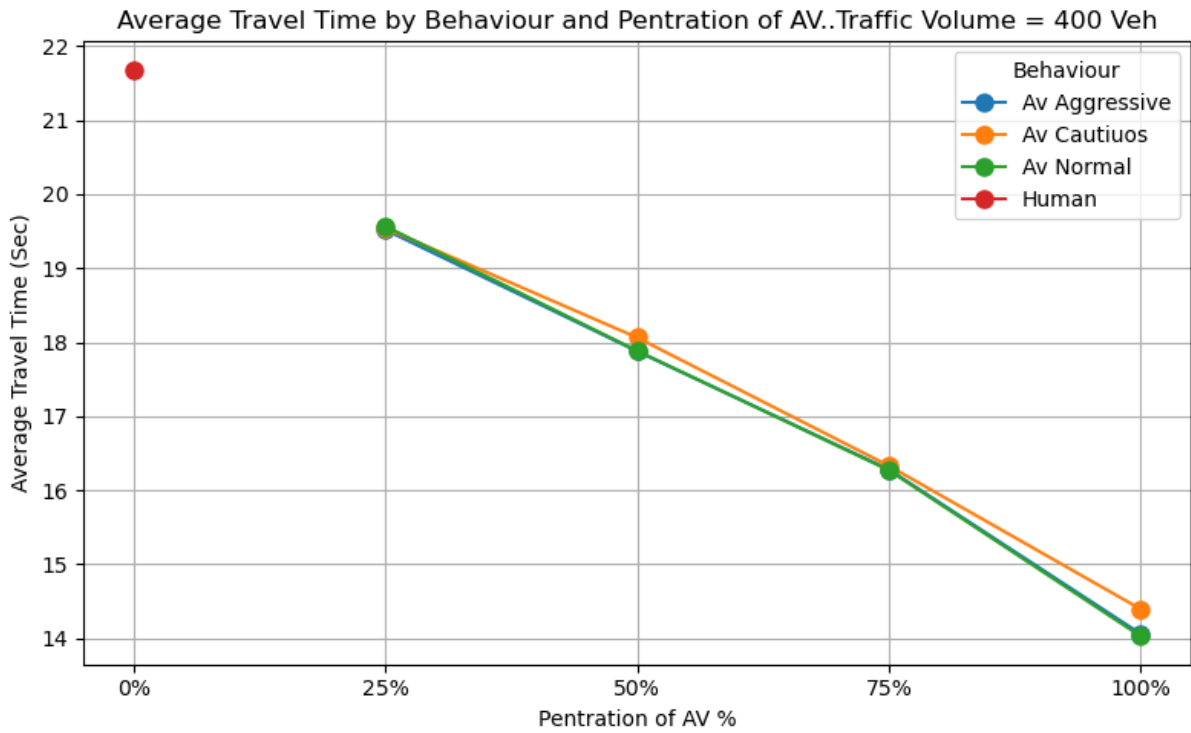
**Figure 5a.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 100 Vehicle.



**Figure 5b.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 200 Vehicle.

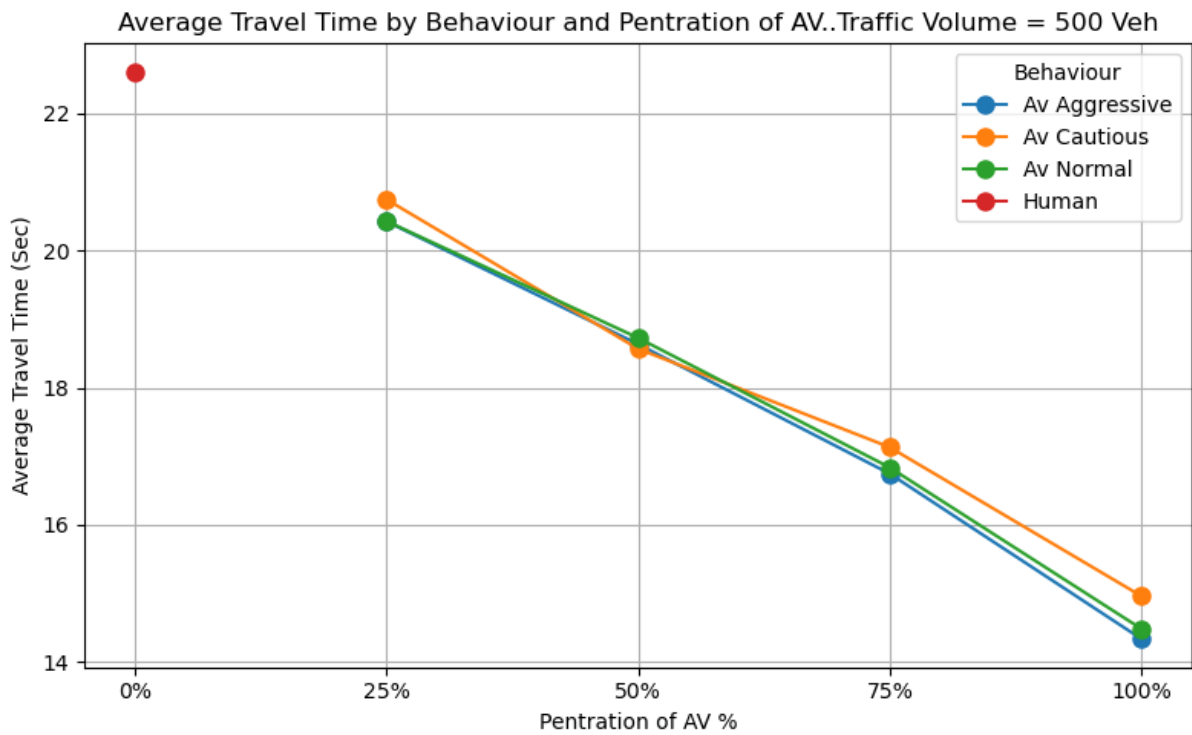


**Figure 5c.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 300 Vehicle.

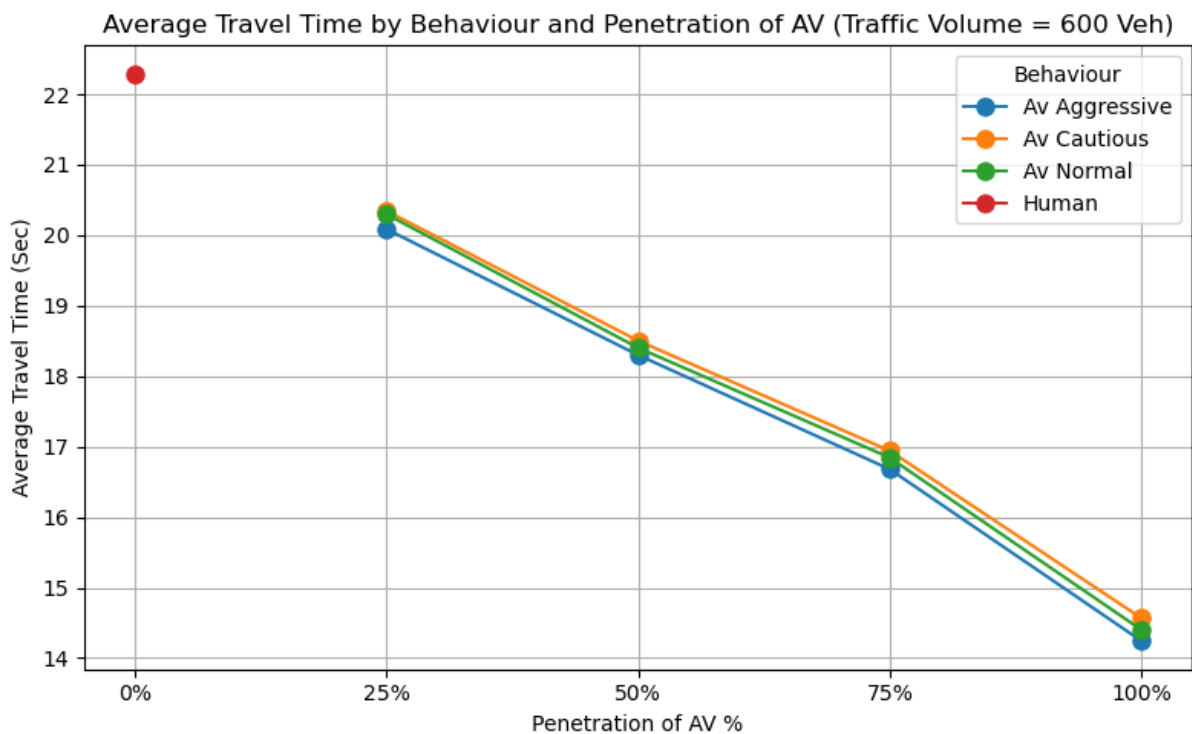


**Figure 5d.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 400 Vehicle.





**Figure 5e.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 500 Vehicle.

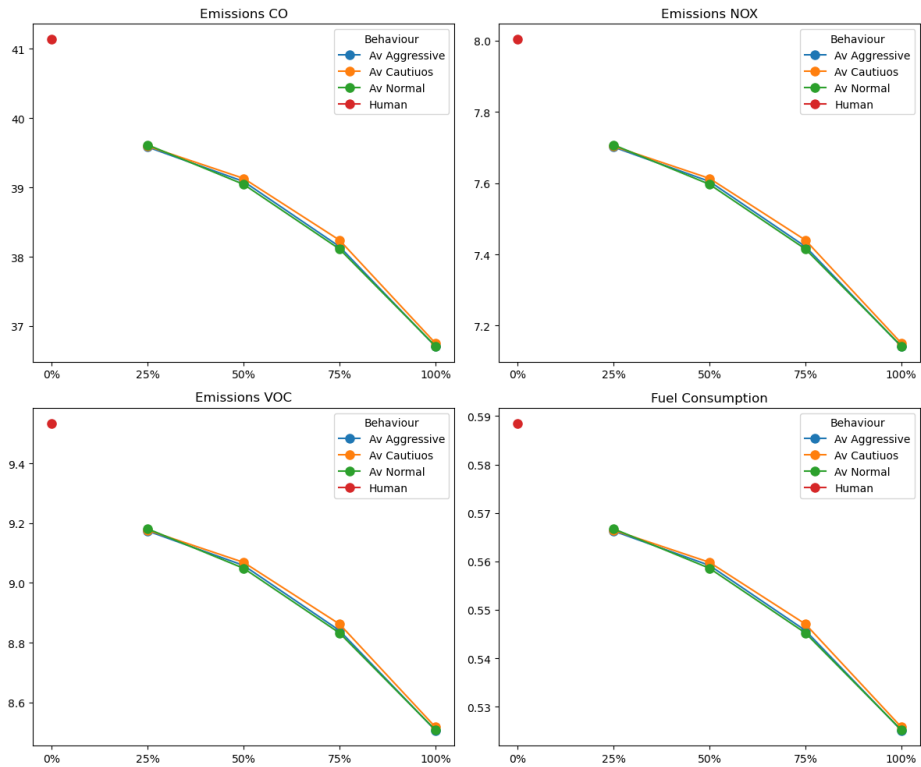


**Figure 5f.** Average Travel Time by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 600 Vehicle.

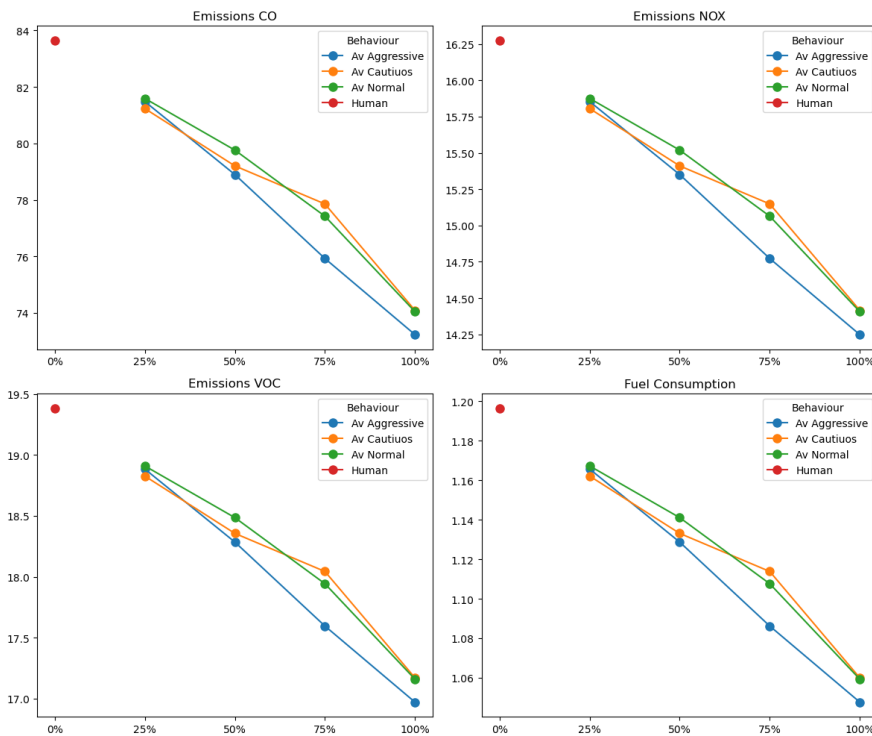
## 4.2 Average Vehicle Emissions and Fuel Consumption

The analysis of average vehicle emissions and fuel consumption reveals favourable outcomes with the integration of autonomous vehicles (AVs) of various types: cautious, normal, and aggressive. The study examined emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NOX), volatile organic compounds (VOCs), and fuel consumption across different traffic volumes and penetration rates, with results shown in Figure 6(a-f). Across all traffic volumes, higher penetration rates of AVs consistently lead to lower emissions and improved fuel efficiency, with significant benefits at 100% penetration. In scenarios with 100 vehicles, human-driven vehicles produce 41.14 g of CO. Cautious AVs at 25% penetration emit 39.59 g, while at 100%, CO emissions reduce to 36.75 g. Normal AVs exhibit similar patterns, with CO emissions ranging from 39.61 g at 25% penetration to 36.71 g at 100%. Aggressive AVs range from 39.58 g at 25% penetration to 36.71 g at 100%. In scenarios with 200 vehicles, human-driven vehicles produce 83.64 g of CO. At 25% cautious AV penetration, emissions drop to 81.23 g, and at 100% they fall to 74.09 g. Normal AVs range from 81.59 g at 25% to 74.04 g at 100%, while aggressive AVs range from 81.48 g to 73.23 g. With 100 vehicles, human-driven vehicles produce 8.00 g of NOX. Cautious AVs at 25% penetration drop to 7.70 g, and at 100% they fall to 7.15 g. Normal AVs decrease from 7.71 g at 25% to 7.14 g at 100%, with aggressive AVs following similar trends. At 200 vehicles, human-driven vehicles generate 16.27 g of NOX. Cautious AVs at 25% penetration produce 15.80 g, while at 100%, they drop to 14.42 g. Normal AVs range from 15.87 g to 14.41 g at 100%, while aggressive AVs show reductions from 15.85 g to 14.25 g at 100%. In scenarios with 100 vehicles, human-driven vehicles emit 9.53 g of VOCs. Cautious AVs at 25% penetration drop to 9.18 g, with further reduction to 8.52 g at 100%. Normal AVs range from 9.18 g at 25% to 8.51 g at 100%, with similar trends for aggressive AVs. In scenarios with 200 vehicles, human-driven vehicles emit 19.38 g of VOCs. At 25% cautious AV penetration, emissions drop to 18.83 g, and at 100%, they fall to 17.17 g. Normal AVs range from 18.91 g at 25% to 17.16 g at 100%. Aggressive AVs show a similar pattern, from 18.88 g to 16.97 g. With 100 vehicles, human-driven vehicles consume 0.59 L of fuel. Cautious AVs at 25% penetration consume 0.57 L, dropping to 0.53 L at 100%. Normal and aggressive AVs follow similar trends. In scenarios with 200 vehicles, human-driven vehicles consume 1.20 L of fuel. With 25% cautious AV penetration, consumption drops to 1.16 L, while at 100%, it is 1.06 L. Normal AVs show similar patterns, ranging from 1.17 L to 1.06 L, while aggressive AVs exhibit reductions from 1.17 L to 1.05 L at 100% penetration.

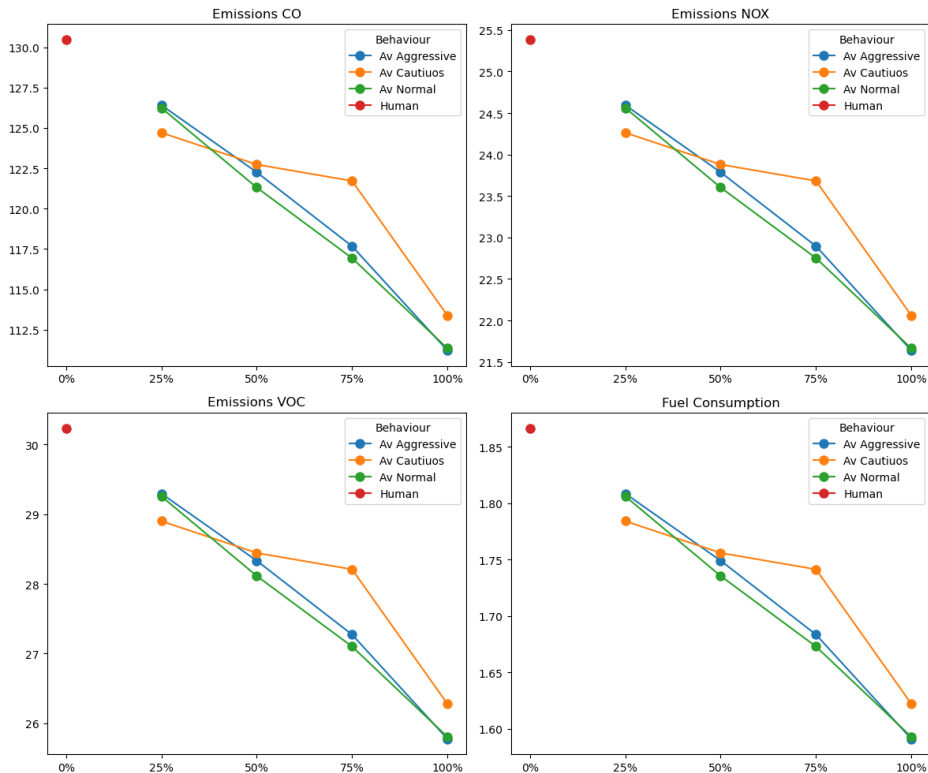
As traffic volume increases to 300, 400, 500, and 600 vehicles, these trends persist. Human-driven vehicles consistently produce higher emissions and fuel consumption compared to autonomous vehicles at higher penetration rates. These results suggest that higher penetration rates of AVs, especially aggressive ones, can significantly reduce emissions and fuel consumption, supporting a more environmentally conscious transportation future, as illustrated in Figure 6c-f. The findings are comparable to the outcomes of findings of a study conducted by (Zhao et al., 2022) that explores the positive impact of connected automated vehicles (CAVs) on fuel consumption and traffic emissions. It reveals that CAVs consistently reduce both aspects, with a higher penetration rate leading to more significant benefits. The study particularly emphasizes a remarkable 32% reduction in fuel consumption and traffic emissions at signalized intersections with 100% CAV penetration. Leveraging car-following models (IDM, ACC, CACC) and the VT-micro model for precise measurements, the research underscores the environmental advantages of CAVs across diverse traffic scenarios.



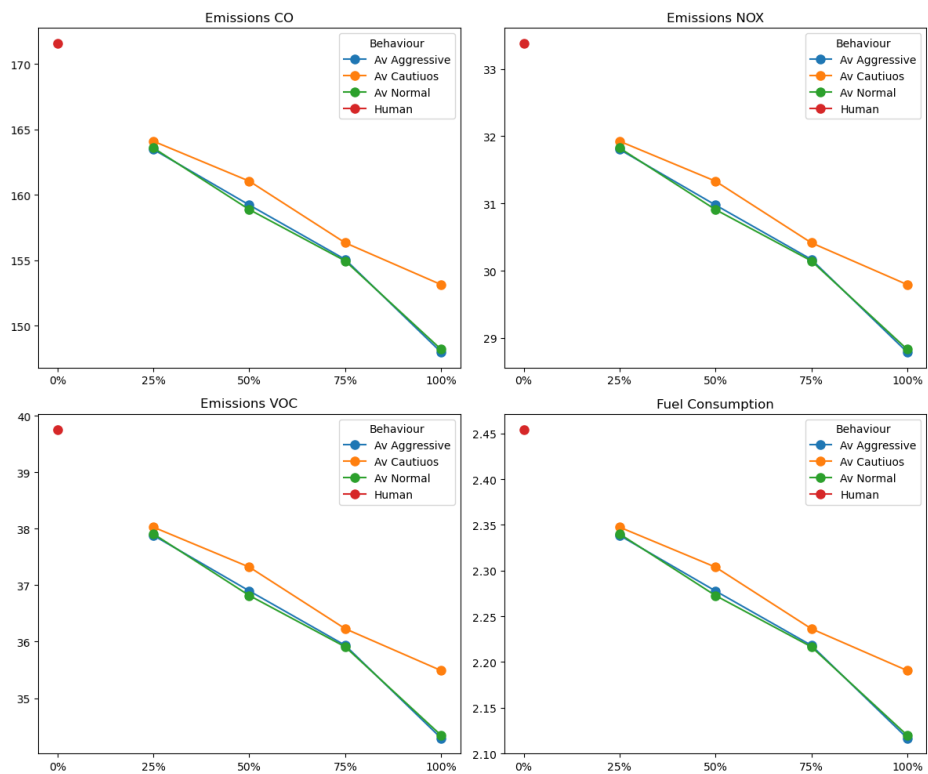
**Figure 6a.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 100 Vehicle.



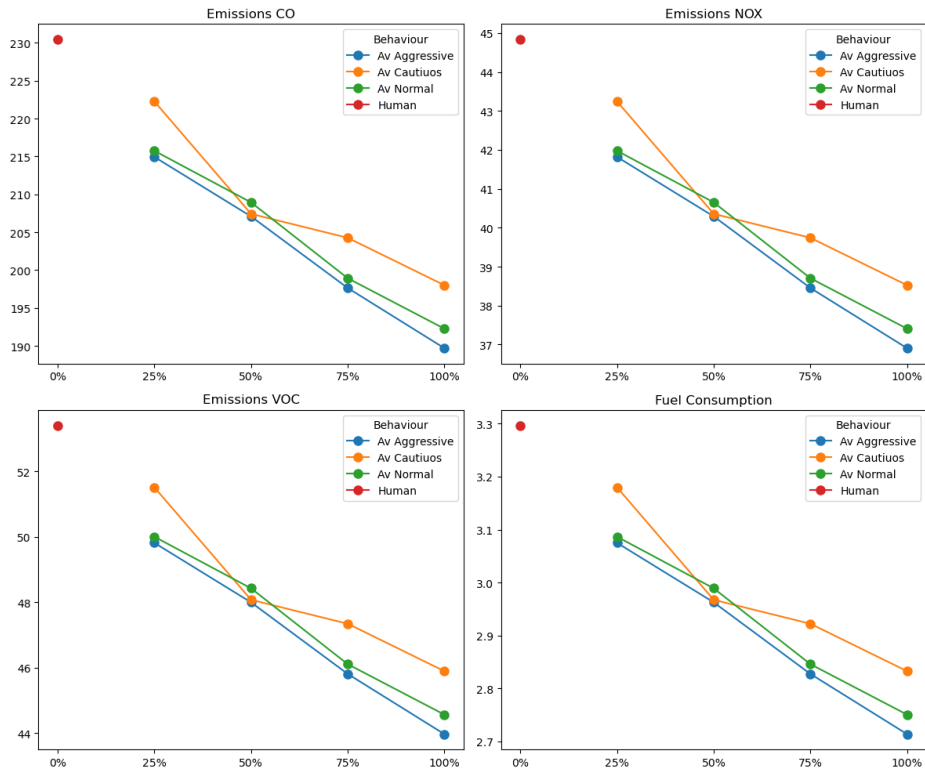
**Figure 6b.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 200 Vehicle.



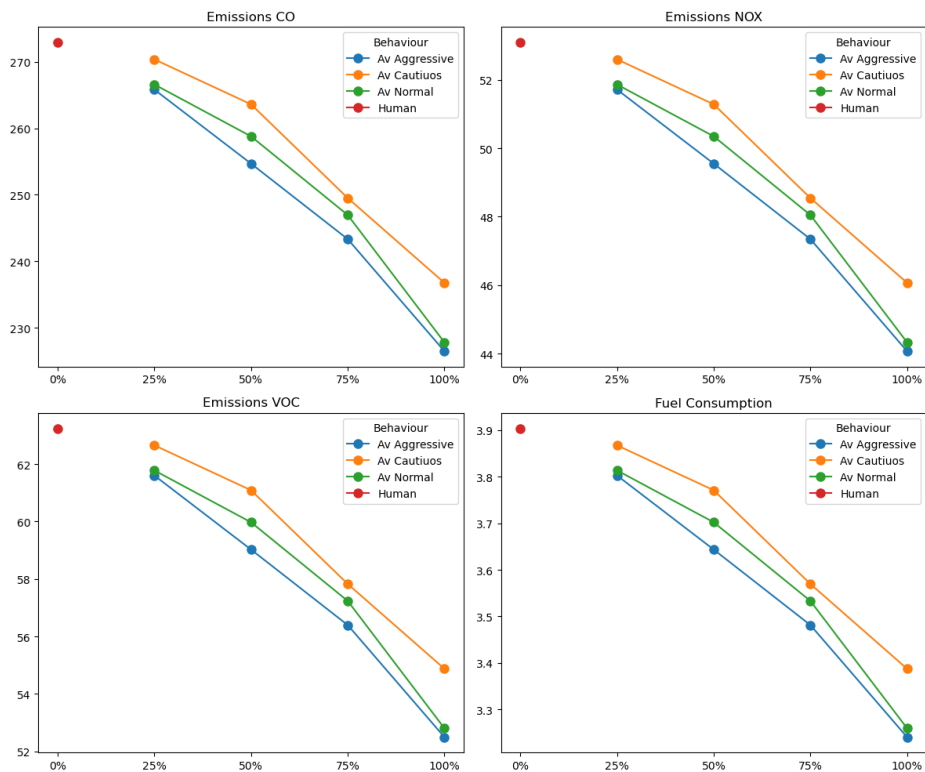
**Figure 6c.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 300 Vehicle.



**Figure 6d.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 400 Vehicle.



**Figure 6e.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 500 Vehicle.



**Figure 6f.** Emissions and Fuel Consumption by Different Behaviours and Penetrations when Traffic Volume = 600 Vehicle.

## 5. Conclusion

This study's comprehensive analysis of traffic dynamics at a Kirkuk, Iraq, roundabout examined the impact of increasing traffic volume and different types of autonomous vehicles (AVs) on travel time, emissions, and fuel consumption. The study evaluated the effects of integrating cautious, normal, and aggressive AVs into traffic scenarios. The results reveal that as AV penetration rates increase, there is a consistent reduction in travel time, emissions, and fuel consumption, with aggressive AVs demonstrating the most significant benefits.

- **Travel Time:** Aggressive AVs at 100% penetration consistently achieve the shortest travel times, ranging from 13.61 minutes with 100 vehicles to 14.24 minutes with 600 vehicles. Cautious and normal AVs also show significant reductions in travel time compared to human-driven scenarios. For example, with 100 vehicles, cautious AVs at 100% penetration have a travel time of 13.71 minutes, while normal AVs have 13.61 minutes.
- **Emissions:** Emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NOX), and volatile organic compounds (VOCs) all decrease as AV penetration rates increase. For example, with 100% penetration of aggressive AVs, CO emissions range from 36.75 g with 100 vehicles to 226.50 g with 600 vehicles. Cautious and normal AVs also show a similar trend, indicating their environmental benefits.
- **Fuel Consumption:** The study shows that 100% penetration of aggressive AVs leads to lower fuel consumption, ranging from 0.53 L with 100 vehicles to 3.24 L with 600 vehicles. Cautious and normal AVs also follow this trend, with significant reductions compared to human-driven scenarios.

These outcomes highlight the benefits of integrating AVs, particularly aggressive ones, in reducing travel time, emissions, and fuel consumption. The study suggests that higher penetration rates of AVs, regardless of behaviour type, can support a more sustainable and efficient transportation system.

To ensure the generalizability of these findings, future studies should consider a broader range of traffic scenarios and the specific characteristics of different intersections. Exploring varying geometries, traffic conditions, and cultural contexts can provide a more robust understanding of how these trends apply to diverse settings. Additionally, incorporating a wider array of autonomous vehicle (AV) behaviours and penetration rates can offer further insights into their impact on traffic dynamics. This approach helps to understand better the effectiveness and potential challenges of integrating autonomous vehicles into existing traffic systems.

## 6. Limitations

This study's limitations stem from the inherent constraints of simulation-based approaches, which rely on assumptions and simplifications that might not fully capture the complexities of real-world traffic scenarios. The focus on a specific roundabout in Kirkuk, Iraq, reduces the study's generalizability, as the results might not apply to different intersections, urban contexts, or regional conditions. Additionally, the simulation uses a predefined penetration rate for autonomous vehicles (AVs) across cautious, normal, and aggressive behaviours. This approach may not reflect the full spectrum of real-world variations in AV adoption and behaviour. The study's emphasis on traffic volume increase could also limit the broader understanding of other significant factors that influence traffic dynamics. For instance, road conditions, weather variations, real-time driver behaviour, and traffic management practices could play critical roles in shaping traffic patterns.

Another limitation is the focus on a limited range of traffic volumes and behaviours, which might not represent the full potential of autonomous vehicles in various urban settings. Future research could explore a wider array of AV behaviours, different traffic conditions, and other significant parameters to obtain a more comprehensive understanding of the effects of AV integration.

## Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

**Conflict of Interest Statement, if any**

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

**References**

- Alghamdi, T., Mostafi, S., Abdelkader, G., & Elgazzar, K. (2022).** A comparative study on traffic modeling techniques for predicting and simulating traffic behavior. *Future Internet*, 14(10), 294.
- Cao, H., & Zöldy, M. (2020).** An investigation of autonomous vehicle roundabout situation. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 48(3), 236-241.
- Dey, D., Martens, M., Eggen, B., & Terken, J. (2017).** The impact of vehicle appearance and vehicle behavior on pedestrian interaction with autonomous vehicles. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct*.
- Karjanto, J., Yusof, N., Terken, J., Hassan, M., Delbressine, F., van Huysduynen, H. H., & Rauterberg, G. (2017).** The identification of Malaysian driving styles using the multidimensional driving style inventory. *MATEC Web of Conferences*.
- Khreis, H., Warsow, K. M., Verlinghieri, E., Guzman, A., Pellecuer, L., Ferreira, A., Jones, I., Heinen, E., Rojas-Rueda, D., & Mueller, N. (2016).** The health impacts of traffic-related exposures in urban areas: Understanding real effects, underlying driving forces and co-producing future directions. *Journal of Transport & Health*, 3(3), 249-267.
- Maheshwari, T., & Axhausen, K. W. (2021).** How will the technological shift in transportation impact cities? A review of quantitative studies on the impacts of new transportation technologies. *Sustainability*, 13(6), 3013.
- Mesionis, G., Brackstone, M., & Gravett, N. (2020).** Microscopic modeling of the effects of autonomous vehicles on motorway performance. *Transportation Research Record*, 2674 (11), 697-707.
- Osman, A. (2023).** Evaluation of The Impact of Automated Driven Vehicles on Traffic Performance at Four-leg Signalized Intersections. *In*.
- Paiva, S., Ahad, M. A., Tripathi, G., Feroz, N., & Casalino, G. (2021).** Enabling technologies for urban smart mobility: Recent trends, opportunities and challenges. *Sensors*, 21(6), 2143.
- Schrum, M. L., Sumner, E., Gombolay, M. C., & Best, A. (2024).** Maveric: A data-driven approach to personalized autonomous driving. *IEEE Transactions on Robotics*.
- Shahandasht, M., Pudasaini, B., & McCauley, S. L. (2019).** Autonomous Vehicles and Freight Transportation Analysis. Department of Civil Engineering, The University of Texas at Arlington, 1-111.
- Sperling, D. (2018).** Three revolutions: Steering automated, shared, and electric vehicles to a better future. *Island Press*.
- Sultana, S., Salon, D., & Kuby, M. (2021).** Transportation sustainability in the urban context: A comprehensive review. *Geographic Perspectives on Urban Sustainability*, 13-42.
- Ullah, M. R., Khattak, K. S., Khan, Z. H., Khan, M. A., Minallah, N., & Khan, A. N. (2021).** Vehicular traffic simulation software: A systematic comparative analysis. *Pakistan Journal of Engineering and Technology*, 4(1), 66-78.
- Van Brummelen, J., O'Brien, M., Gruyer, D., & Najjaran, H. (2018).** Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 384-406.
- Zhang, Y.-T., Chen, Y.-Z., Shi, C.-L., & Hu, M.-B. (2023).** Impact of vehicle platoon on energy and emission in mixed traffic environment. *International Journal of Modern Physics C*, 2350136.

**Zhao, B., Lin, Y., Hao, H., & Yao, Z. (2022).** Fuel consumption and traffic emissions evaluation of mixed traffic flow with connected automated vehicles at multiple traffic scenarios. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1-14.



## Research Article

# Analysis of Signalized Roundabouts with Intelligent Transportation Systems - The Case of Gaziantep Junction 40 (Shell)

Abdulhalim BİLGİN<sup>1,\*</sup>, Caner PENSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Intelligent Transportation Systems and Technologies, Institute of Science, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

<sup>2</sup> Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

\*Correspondence: [abdulhalimbilgin@ogr.bandirma.edu.tr](mailto:abdulhalimbilgin@ogr.bandirma.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1481148

**Abstract:** This study presents an analysis aimed at optimizing traffic flow at the Shell Intersection in Gaziantep. Due to increasing population and vehicle numbers, traffic problems in the city are growing, especially at central intersections. Using PTV-Vissim micro-simulation software, the current situation was analyzed and alternative scenarios were developed. Performance analyses were conducted on models created using field observations and peak hour traffic counts. The intersection, currently at service level "F", is targeted to be elevated to service levels "B" and "C" through the proposed Single Point intersection design and optimized signal plans. Results indicate that the proposed changes could reduce average vehicle delay by 85-93% and increase average speed by 195-239%. This study aims to contribute to the improvement of urban traffic management through the integration of intelligent transportation systems and geometric arrangements.

**Key words:** Intelligent transportation systems, traffic simulation, traffic simulation software

## Sinyalize Dönel Kavşakların Akıllı Ulaşım Sistemleri ile Analizi- Gaziantep 40 Nolu (Shell) Kavşağı Örneği

**Özet:** Bu çalışma, Gaziantep'teki Shell Kavşağı'nın trafik akışını optimize etmek amacıyla yapılan bir analizi sunmaktadır. Artan nüfus ve araç sayısı nedeniyle şehirdeki trafik sorunları giderek artmakta, özellikle merkezi kavşaklarda yoğunluk yaşanmaktadır. Çalışmada, PTV-Vissim mikro-simülasyon yazılımı kullanılarak mevcut durum analiz edilmiş ve alternatif senaryolar geliştirilmiştir. Saha gözlemleri ve zirve saat trafik sayımları kullanılarak oluşturulan modeller üzerinden performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda "F" hizmet seviyesinde olan kavşağın, önerilen Tek Nokta (Single Point) kavşak tasarımı ve optimize edilmiş sinyal planları ile "B" ve "C" hizmet seviyelerine yükseltilmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar, önerilen değişikliklerin ortalama araç gecikmesini %85-93 oranında azaltabileceğini ve ortalama hızı %195-239 oranında artırabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu ve geometrik düzenlemeler yoluyla kentsel trafik yönetiminin iyileştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaşım sistemleri, trafik simülasyonu, trafik simülasyon yazılımları

\* Corresponding author.

E-mail address: [abdulhalimbilgin@ogr.bandirma.edu.tr](mailto:abdulhalimbilgin@ogr.bandirma.edu.tr)

ORCID: 0000-0003-2187-2193, 0000-0001-8743-196X (in hierarchical order)

Received 09.05.2024; Received in revised form 01.08.2024; Accepted 28.08.2024

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Introduction

The rapid increase in urbanization and widespread vehicle ownership are causing traffic problems to escalate both globally and in Turkey. This situation brings about chronic traffic congestion, particularly in metropolitan areas, necessitating improvements in transportation infrastructure (Toğaç, 2023). According to data from the Turkish Statistical Institute (TUIK), the number of registered vehicles in the country increased from 631.000 in 1974 to 25.249.119 in 2021. This dramatic rise has led to a significant increase in the number of vehicles per 100 people, from 16.2 to much higher levels. The growth in car ownership is particularly noteworthy; automobiles, which constituted 49.6% of total vehicles in 1974, reached a proportion of 54.3% in 2021 (*TÜİK Kurumsal*, 2022).

In this context, the case of Gaziantep holds special significance. With a population exceeding 2 million and 645.243 vehicles, Gaziantep, Turkey's ninth-largest city, has a vehicle ownership rate of 0.3 per capita. This ratio indicates the potential severity of traffic congestion in the city. The increasing number of vehicles and traffic volume lead to serious disruptions, especially at intersections in urban centers, necessitating urgent solutions in traffic management and infrastructure improvements. At this juncture, Intelligent Transportation Systems (ITS) are gaining increasing importance. ITS technologies aim to optimize traffic flow in real-time, thereby reducing delays and emissions (Shahgholian and Gharavian, 2018).

The history of Intelligent Transportation Systems (ITS) dates back to the mid-20th century, beginning with traffic control systems that utilized roadside sensors to monitor parameters such as speed and traffic density. In the 1990s, the technology and scope of these systems expanded significantly under the ITS framework. ITS encompasses innovative solutions such as adaptive signal control, optimization of urban road networks, and communication between autonomous vehicles.

Due to the anticipated environmental and economic benefits, the implementation of ITS has become central to sustainable urbanization and the concept of green cities. Environmentally friendly transportation solutions contribute to the fight against climate change by reducing carbon emissions. Additionally, ITS plays a crucial role in reducing traffic accidents and the resulting human and material losses.

From this perspective, the development and application of ITS technologies have become an indispensable requirement for modern cities. ITS aims to create a more efficient, safe, and environmentally friendly transportation network not only for road users but also for public transportation systems and entire cities. In this context, the Gaziantep 40 Nolu (Shell) Intersection serves as a concrete example of the solutions ITS offers to urban traffic problems.

Particularly, signalized roundabouts play a critical role in managing high traffic volumes. However, in Turkey, the integration of signalized roundabouts with ITS is not yet widespread, and academic studies on this subject are limited. Therefore, analyzing one of the busiest intersections in Gaziantep, the Shell intersection, from an ITS perspective, could provide valuable insights for optimizing traffic flow and reducing congestion.

This study aims to contribute to the literature by addressing signalized roundabouts with a holistic approach, optimizing both signaling and geometric elements, and ensuring real-time and dynamic management through ITS integration. Intelligent Transportation Systems have the potential to significantly contribute to the effective and sustainable management of urban traffic.

## 2. Literature Review

Various studies conducted in Turkey and other countries demonstrate the effectiveness of micro-simulation and signal optimization programs in intersection arrangements.

In a 2012 study conducted in Konya, the current situation of the Kule, Nalçacı-Sille, and Kabataş intersections was analyzed, and using the Sidra micro-simulation program, a 35% reduction in average delay times, a 20% reduction in degrees of saturation, and a 25% increase in capacity were achieved (Akmaz. M., 2012).

In a 2017 study at the 100th Year Intercity Bus Terminal intersection in Zonguldak, the impact of vehicle delays caused by signal timing on harmful gas emissions was examined, and using the Sidra Intersection micro-simulation program, a 22% reduction in fuel consumption, a 35% reduction in CO emissions, and a 12% reduction in NOx emissions were obtained (Zeydan , 2017).

In a 2018 study at an intersection on the Erzurum-Bingöl state road in Erzurum, using the PTV Vissim micro-simulation program, a 35% reduction in delay time, an 83% reduction in queue length, and a 23% reduction in harmful gas emissions were achieved (Bas ., 2020).

In a 2019 study at the Al-Fallah intersection in Baghdad, using the Synchro signal optimization program, an 87% reduction in average delay and an improvement in the level of service from F to D were achieved (Ziboon, A.R.T, 2019). The study analyzes the impact of vehicle delays at signalized intersections on the traffic system in Sakarya in 2017 using VISSIM simulation software.

A signalized intersection in Sakarya was examined in the research, and the effects of increases in vehicle types and quantities on average delay times were observed. The results indicate that irregular urbanization and rising vehicle ownership complicate transportation issues, emphasizing the importance of improvements in public transportation systems and intelligent signalization systems (Aktaş, Aslan and Pistil, 2017).

A study conducted in 2022 emphasizes the necessity of developing delay and queue length calculation methods at signalized intersections, particularly in underdeveloped and developing countries, to suit local traffic conditions. The situation in Turkey was examined at six different signalized intersections in Antalya, revealing that existing methods (HCM 2010 and Australian (Akçelik) methods) exhibit high error rates (64.5% for delay and 40.9% for queue length). It was concluded that new delay and queue length calculation methods tailored to the traffic culture and intersection geometric characteristics of countries like Turkey need to be developed (Aydın, Aydoğdu and Yıldırım, 2022).

A study conducted in 2015 introduced a new approach to determining saturation flow, a critical parameter in the design of signalized intersections. Two existing methods, analytical and observational, are accepted by the HCM. The new method developed in this study was tested at various intersections in Izmir. Variables such as vehicle length, distance between vehicles, driver reaction time, acceleration rate, acceleration duration, and intersection crossing speed were used in this method. Many of these variables are related to driver behaviors. The results indicate that the proposed method provides positive outcomes in determining saturation flow and identifying the impact of driver behaviors (Çetin, 2015).

In a study conducted in 2015, a mathematical model was developed to simulate traffic flow at signalized intersections. The study, based on video camera observation data, examines how traffic flow changes over time and distance starting from congestion density. The intersection was divided into four zones of twenty meters each, with a stop line at the rear. The model consists of a set of curves based on the congestion density information in the first zone, allowing the determination of traffic densities at various times and zones. The error analysis conducted demonstrated that the standard error between the model results and the observation data was within an acceptable range (Sönmez, 2015).

In a 2004, study various control strategies to improve traffic congestion on urban road and highway networks were examined. The authors highlighted the deteriorative effects of traffic congestion on infrastructure and the resulting decrease in efficiency. Based on various application results, the study evaluated the proposed strategies for different areas such as urban road networks, highways, and route guidance. It was shown that methods like ramp metering play a significant role in preventing traffic congestion by enhancing efficiency (Papageorgiou *et al.*, 2004).

A 2001 study addresses conceptual and scientific issues critical to traffic management and control in intelligent transportation systems using dynamic traffic assignment and simulation methodologies. The study defines and evaluates Dynamic Traffic Assignment (DTA) systems in the context of real-time information-based traffic control strategies and user response models. The DYNASMART simulation-assignment model successfully represents traffic flow processes at both microscopic and macroscopic levels, enabling the analysis of the effectiveness and operational applications of ITS Technologies (Mahmassani, 2001).

In a 2001 study, a comprehensive review of traffic flow modeling approaches was conducted, examining Mainstream Flow Models (Microscopic, Mesoscopic), Traffic Density Conservation, Model Calibration, and Validation. The study addresses different modeling approaches for understanding and managing traffic flow models, discussing the advantages and disadvantages of these approaches (Hoogendoorn and Bovy, 2001).

In traffic engineering, safety has become a widely evaluated and continuously improved topic. However, the lack of good models that can predict accident potential makes it difficult to assess the safety of new traffic regulations. A 2003 study focuses on the evaluation of indirect safety measures derived from existing traffic simulation models. Indirect safety measures such as Time to Collision (TTC), Post-Encroachment Time (PET), and deceleration rate emerge as important tools in traffic safety assessments. The study demonstrates the effectiveness of indirect safety measures using VISSIM-SSAM-based models to predict pedestrian accidents in India. Indirect safety measures allow for the examination of areas before accidents occur, eliminating the necessity of collecting accident data (Gettman, 2003). VISSIM, introduced in 1994, is a microscopic, behavior-based, and multi-purpose traffic flow simulator. This simulator offers a wide range of applications for urban and highway use, providing integration of public and private transport. The core traffic flow models include longitudinal and lateral movements of vehicles on multi-lane roads, conflict resolution models on overlapping trajectories, and the social force model applied to pedestrians. It is emphasized that traditional methods are insufficient for the validation of autonomous driving functions and need to be supported by simulations. Vehicle following and lane-changing models, especially the Wiedemann model, are used to enhance the accuracy of autonomous vehicle simulations. VISSIM plays a significant role in analyzing the impacts of autonomous vehicles and in safety assessments (Fellendorf and Vortisch, 2011).

A 2000 study evaluates the effectiveness of traffic simulation models in the development of Intelligent Transportation Systems (ITS). Multi-modal microscopic simulation approaches, incorporating comprehensive vehicle-following and lane-changing logic, were used in different traffic scenarios. Comparisons with TSIS/CORSIM and WATSim models revealed that only the INTEGRATION model could simulate U-turns but was insufficient in modeling complex signal operations. Additionally, the relationships between vehicle travel times, delays, and the number of stops were investigated in a static signal network examined using TRANSYT and INTEGRATION models (Boxill and Yu, 2000).

CARSIM, developed to realistically simulate both normal traffic flow and stop-and-go conditions, is a vehicle-following simulation model that considers safe distances between vehicles, start-up delays, and randomly generated driver reaction times. The model accounts for dual behaviors in both congested and uncongested traffic conditions. The validity of the model was tested at both microscopic and macroscopic levels, showing high agreement with speed change patterns and location data based on field data (Benekohal and Treiterer, 1988).

In a 2011 study, Akçelik evaluates the roundabout capacity model from the 2010 Highway Capacity Manual (HCM 2010). It is noted that this model, designed specifically for the U.S. and based on the NCHRP 572 report, is a nonlinear empirical (regression) model. Akçelik points out that the model used in SIDRA INTERSECTION software closely aligns with HCM 2010, but U.S. roundabouts have lower capacities compared to those in Australia and the U.K. He also highlights potential future increases in U.S. roundabout capacities due to changes in driver behavior (Akçelik, 2011).

A 2019 study analyzed traffic congestion in the Gölcük Corridor of Kocaeli province using PTV Group VISSIM software. The research examined the impact of separating transit traffic from local traffic on traffic flow and compared two different solutions. The first solution focused on maintaining continuity for transit traffic while providing urban connections via side roads. The second solution involved adjusting signal timings and phase plans at existing intersections. Results indicated that both solutions had positive effects compared to the current situation, but phase adjustment was more effective (İLICALI and SARAÇ, 2019).

A study on the formulation of traffic signalization in Turkey emphasizes the need to develop signalization formulas suited to local traffic conditions. The study indicates that foreign formulas are not suitable for Turkey and that local conditions must be considered. In this context, new formulas for calculating green light and period durations for intersections in Turkey were developed. The adverse effects of heavy vehicles and minibuses on traffic were highlighted, and their impact on green light durations was included in the calculations (Özdirim, 1972).

Due to the inadequacy of traditional delay determination methods, this study highlights the importance of traffic volume, red light waiting times, and the number of vehicles in the queue as significant parameters. By incorporating these parameters into the model, the study aims to optimize traffic signalization at intersections. The model compared fixed-time and traffic-responsive signalization systems, indicating a preference for traffic-responsive systems. The results suggest that these model simulations were effective in improving intersection performance, and future enhancements with artificial intelligence are recommended (Simsir, Ozkaynak and Ekmekci, 2013).

The environmental impacts of waiting vehicles at signalized intersections were evaluated through a four-phase intersection. CO<sub>2</sub> equivalent emission values were calculated, examining the impact of idle stop-start systems and electric vehicles on emissions. Results showed that even a small increase in the number of electric vehicles and the use of idle stop-start systems could significantly reduce CO<sub>2</sub> equivalent emissions (Arabaci *et al.*, 2020).

A study conducted at the Adnan Kahveci Signalized Intersection in Ankara used traffic observation and counting methods to analyze the intersection's capacity and delays. These analyses were performed based on the existing cycle time and the newly calculated cycle time, using various capacity analysis methods such as Webster Method, Highway Capacity Manual (HCM 1985), Australian Method, and Sidra Intersection 3.2 Program. The results showed that the data obtained using the Sidra Intersection 3.2 Program were very close to the observations (Çetinkaya, 2008).

Based on the insights gathered from the literature, it is evident that various simulation and optimization tools, such as Sidra, VISSIM, and Synchro, have been effectively employed to analyze traffic dynamics at signalized intersections, assess delay times, and evaluate environmental impacts. These studies emphasize the necessity of tailored approaches to traffic management that accommodate local traffic conditions, urbanization patterns, and driver behaviors.

Building on this foundation, this study focuses on optimizing traffic flow at the Shell Junction in Gaziantep utilizing the PTV Vissim micro-simulation software, in order to solve problems such as increased waiting times and traffic congestion by analyzing traffic conditions and developing alternative scenarios to enhance junction performance.

### 3. Material and Method

This study was conducted at the 40 Nolu (Shell) Junction located in Gaziantep, which is a strategic point with heavy urban traffic and frequent passage of various vehicle types. During the data collection process, critical variables such as traffic volume, vehicle speeds, and vehicle types were gathered. These data were utilized to better understand the traffic flow at the junction and to determine the necessary parameters for simulation modeling. Data collection was carried out through traffic cameras and installed sensors during specific time intervals and on different days, followed by analysis.

The level of service (LOS) of an intersection is a measure of the quality affected by various factors, including traffic volumes, speed and travel time, traffic interruptions, maneuverability, safety, vehicle driving comfort, and operating costs. In evaluating the traffic flow at the junction, the LOS values from the Highway Capacity Manual (HCM) (Fig. 7) were employed. The LOS levels, ranging from A to F, were analyzed as follows:

- **Level of Service A (LOS A):** Represents conditions with low traffic volumes and high speeds, indicative of free-flowing traffic.
- **Level of Service B (LOS B):** Operating speed starts to be somewhat restricted due to traffic conditions. Drivers still have reasonable freedom in choosing their speed and lane.
- **Level of Service C (LOS C):** Speed and maneuverability are more controlled due to high traffic volumes. Drivers' freedom to choose their own speed, change lanes, or overtakes is limited.
- **Level of Service D (LOS D):** Approaches unstable flow and is significantly affected by variations in operating conditions but can still provide an acceptable operating speed.
- **Level of Service E (LOS E):** Cannot be described solely by speed but indicates lower operating speeds and operation at or close to capacity.
- **Level of Service F (LOS F):** Describes forced flow conditions and low-speed operations when volume is below capacity.

In this study, the impact of factors such as traffic volume, speed, and maneuverability freedom on determining the levels of service was considered, and the current status of the junction was thoroughly evaluated based on the collected data. The gathered data were processed and analyzed using PTV-Vissim simulation software. During this process, various verification and validation steps were taken to ensure the accuracy and reliability of the data.

#### 3.1. Signal Timing Optimization

Signal timing optimization involves arranging the durations of traffic lights and phase plans in the most optimal way to maximize traffic flow efficiency. This process aims to minimize average vehicle delays, stop times, and waiting times at intersections. Signal timing optimization is widely used in urban traffic management, highway intersections, signalized roundabouts, and other signalized traffic control systems. This optimization is applied to improve urban traffic flow, enhance road safety, and reduce vehicle fuel consumption.

#### 3.2. Methods Used

Common methods used in signal timing optimization include adaptive control systems (SCATS, SCOOT), fixed-time control, phase and signal timing optimization, and heuristic and mathematical models (Webster, Akçelik methods). Adaptive control systems respond instantly to traffic density, while fixed-time control is easier to implement but cannot respond to changes in traffic density. Heuristic and mathematical models theoretically provide the most optimal signal timings but lack flexibility in real-time applications.

#### 3.3. Simulation Model

PTV-Vissim software stands out with its detailed micro-simulation capabilities, flexibility, and user-friendly interface, especially in areas with heavy traffic flow (Cakici and Murat, 2015). This software

allows for detailed modeling of individual vehicle movements and interactions and has the flexibility to simulate different traffic scenarios (Çakıcı & Murat, 2020). Additionally, PTV-Vissim ensures that simulations are realistic and reliable by integrating real-world data (Murat and Cakici, 2017). Compared to other traffic simulation software, the detailed analyses and data integration capabilities offered by PTV-Vissim make it more advantageous.

Methods used for signal timing optimization include the Webster method, the Akçelik method, genetic algorithms, and fuzzy logic. The Webster method is used to minimize average delay at signalized intersections (Webster, 1958), while the Akçelik method, developed by calibrating the 1985 HCM delay formula, aims to reduce vehicle delays at isolated signalized intersections (Akçelik, 2005). Genetic algorithms evaluate different combinations of signal timings to find the optimal solution, while fuzzy logic is used to model traffic flows that involve uncertainty and complexity (Çakıcı & Murat, 2020).

In terms of geometric arrangements, factors such as the number of circulation lanes in signalized roundabouts, optimization of phase plans, and adequacy of storage areas are examined. (Cakici and Murat, 2015) found that average vehicle delays increase in three-lane arrangements due to weaving areas. Optimization of phase plans aims to minimize delays by regulating traffic flow at intersections (Çakıcı & Murat, 2020), while inadequate storage areas can lead to traffic congestion and delays.

In conclusion, PTV-Vissim software is widely preferred in traffic engineering studies due to its detailed micro-simulation capabilities, flexibility, and user-friendly interface. The methods used for signal timing optimization and geometric arrangements aim to regulate traffic flow and minimize delays, and the theoretical foundations of these methods are extensively covered in the traffic engineering literature.

### **3.4. Model Setup and Parameters**

The model setup was carried out using data collected from field studies. The vehicle volume and turning percentages at the intersection during peak hours were determined, and modeling studies were initiated by observing the existing signal programs and traffic flow. Parameters included in the simulation model are vehicle volume, turning percentages, signal timings, traffic flow, intersection geometry, and vehicle types.

### **3.5. Data Input and Calibration**

The data used in the model was collected through field studies and traffic counts conducted during peak hours. The collected data was compiled in terms of passenger car units and used as input for the model. To ensure the accuracy of the model, real traffic data was compared with simulation results, and performance parameters such as vehicle delays, stop times, and speeds were validated with observations, and necessary adjustments were made.

### **3.6. Geometric Arrangements - Current Situation and Recommendations**

The Gaziantep Shell Intersection is a signalized intersection with four approach arms and a roundabout island. The intersection is located at the intersection of D-400 Sani Konukoğlu Boulevard with Çetin Emeç Street, Ömer Ersoy Street, and other main roads. Currently, the approach arms operate with a flashing signal plan, and there are no signal poles within the island. The existing geometric arrangements of the intersection can negatively affect traffic flow, especially during peak hours. The inadequacy of left-turn pockets can cause delays at the intersection as turning vehicles obstruct the straight-moving vehicles.

Recommended geometric arrangements include revising signal plans, expanding storage areas, and increasing the number of lanes. These arrangements can reduce delays and increase the capacity of the intersection by making traffic flow more orderly. Additionally, they can help reduce accidents by improving traffic safety.



## 4. Study Area

Gaziantep, one of the developed cities in the Southeastern Anatolia Region, covers an area of 6,887 km<sup>2</sup> and has a city center population of 2,154,051 (*TÜİK Kurumsal, 2022*). Its geopolitical significance is enhanced by its location on the historic Silk Road. The city is accessible by road and air. This study focuses on Gaziantep's Iller Junction 40 (Shell), which handles approximately 4,507 vehicles. The Junction 40 (Shell), one of the busiest in Gaziantep, is located within the Şehitkamil District boundaries and intersects the D-400 Sani Konukoğlu Boulevard. It is a multilayered junction with four approach arms and roundabouts, currently operated with flash signal plans, and lacks signal poles within the island. The junction is a critical intersection point for many important locations and main arteries.

### 4.1. Junction 40 (Shell)

The Junction 40 (Shell), located within the boundaries of the Şehitkamil District and intersecting the D-400 Sani Konukoğlu Boulevard, is a multilayered intersection with four approach arms and roundabouts. It operates under a flash signal plan for the approach arms, and there are no signal poles within the island. The satellite image of the junction is provided in Figure 1. Due to its position at the intersection of several key points and main arteries, the junction is heavily used.

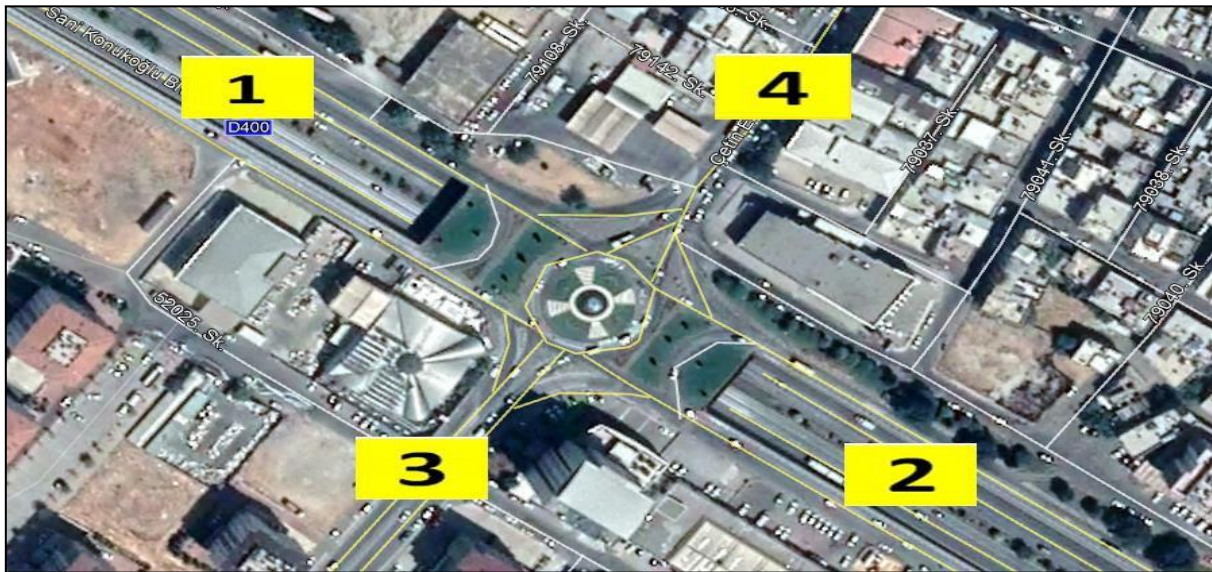


*Figure 1.* Junction 40 (Shell)

### 4.2. Traffic Counts

Traffic counts at the Junction 40 (Shell) were conducted on the 16th of June, 2022, during the morning hours of 07:00 to 09:00 and the evening hours of 17:00 to 19:00. The enumerations used for the junction counts are provided in Figure 2. Accordingly, approach number 1 represents the D-400/Courthouse direction, approach number 2 the D-400/Train Station direction, approach number 3 the Olay TV Junction direction, and approach number 4 the Ömer Ersoy Street direction.



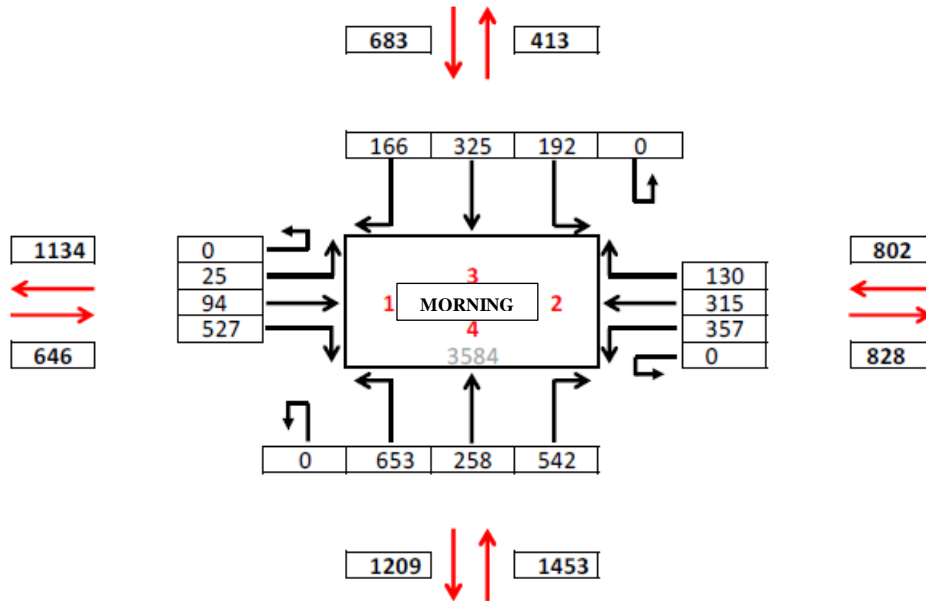


**Figure 2.** Approach arms and their numbering

The counts conducted at the intersection were compiled for a full hour in passenger car units (pcu) based on the peak hour interval and included in the report. The tables prepared accordingly are presented below. The traffic volume values calculated for the morning peak hour at the Junction 40 (Shell) are provided in Table 1. According to this, while the peak hour volume of the junction was calculated as 3,584 pcu/hour, the busiest approach was identified as approach number 1 (Çetin Emeç Street), which is the direction coming from the Ömer Ersoy Street.

**Table 1.** Traffic measurements for the morning peak hour

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	0	94	25	527	646
<b>2</b>	315	0	130	357	802
<b>3</b>	166	192	0	325	683
<b>4</b>	653	542	258	0	1.453
	<b>GRAND TOTAL</b>				<b>3.584</b>

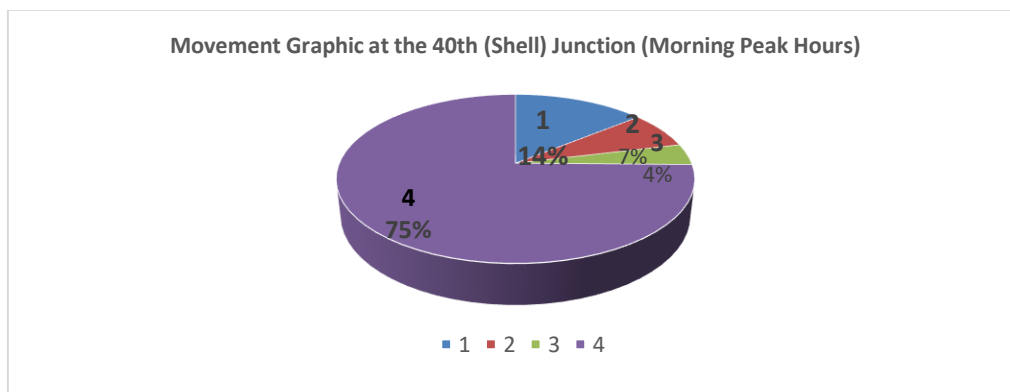


**Figure 3.** Traffic Volume Diagrams for the 40th (Shell) Junction During Morning Peak Hours

The percentages of vehicle movements at the junction were also calculated for the morning peak hour and are provided in Table 2. Accordingly, the internal mobility within each arm of the Junction 40 (Shell) was determined, and the most and least frequent movements were identified. Based on this data, a foundation has been established for interventions that will not incur physical costs, such as modifications in turn restrictions or phase plans.

**Table 2.** Movement percentages at the junction (morning peak hour)

	1	2	3	4	TOTAL
1	0%	14%	4%	82%	100%
2	39%	0%	16%	45%	100%
3	24%	28%	0%	48%	100%
4	45%	37%	18%	0%	100%

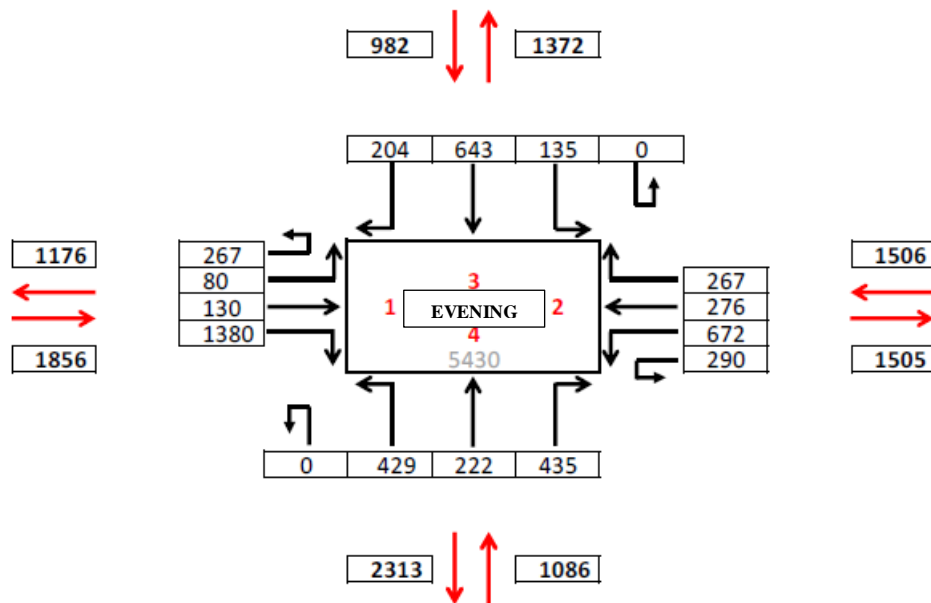


**Figure 4.** Movement Graphic at the 40th (Shell) Junction (Morning Peak Hours)

The traffic volume values for the Junction 40 (Shell) during the evening peak hour are presented in Table 3. It has been determined that the volume at the junction during the peak hour was calculated as 5,430 pcu/hour, with the busiest approach being approach number 1, which is the direction coming from the Courthouse.

**Table 3.** Traffic measurements for the evening peak hour

	1	2	3	4	TOTAL
1	267	130	80	1.380	1.856
2	276	672	267	290	1.506
3	204	135	0	643	982
4	429	435	222	0	1.087
<b>GRAND TOTAL</b>					<b>5.430</b>

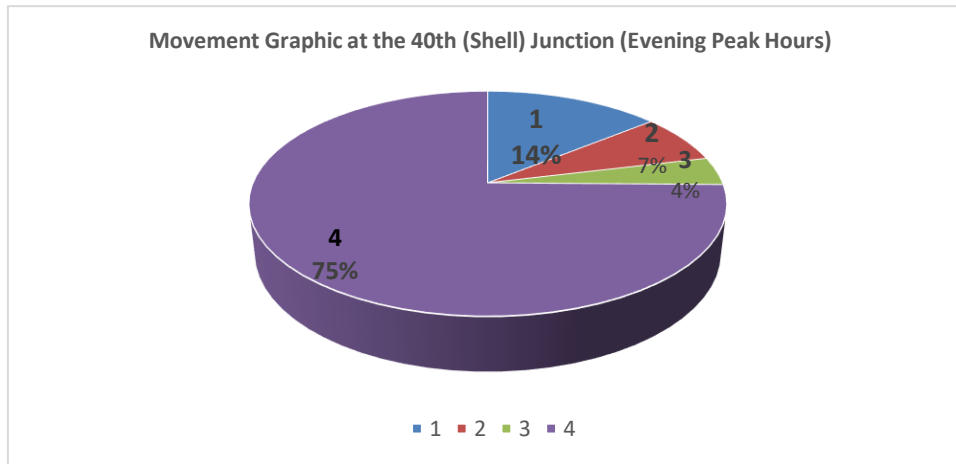


**Figure 5.** Traffic Volume Diagrams for the 40th (Shell) Junction During Evening Peak Hours

The percentages of vehicle movements at the junction for the evening peak hour have been calculated and are shown in Table 4. Accordingly, the movement within each arm of the Junction 40 (Shell) was identified, highlighting the most and least frequent maneuvers. This information has laid the groundwork for non-costly physical interventions, such as adjustments to turning restrictions or phase schedules.

**Table 4.** Movement percentages at the junction (evening peak hour)

	1	2	3	4	TOTAL
1	14%	7%	4%	75%	100%
2	18%	45%	18%	19%	100%
3	21%	14%	0%	65%	100%
4	40%	40%	20%	0%	100%



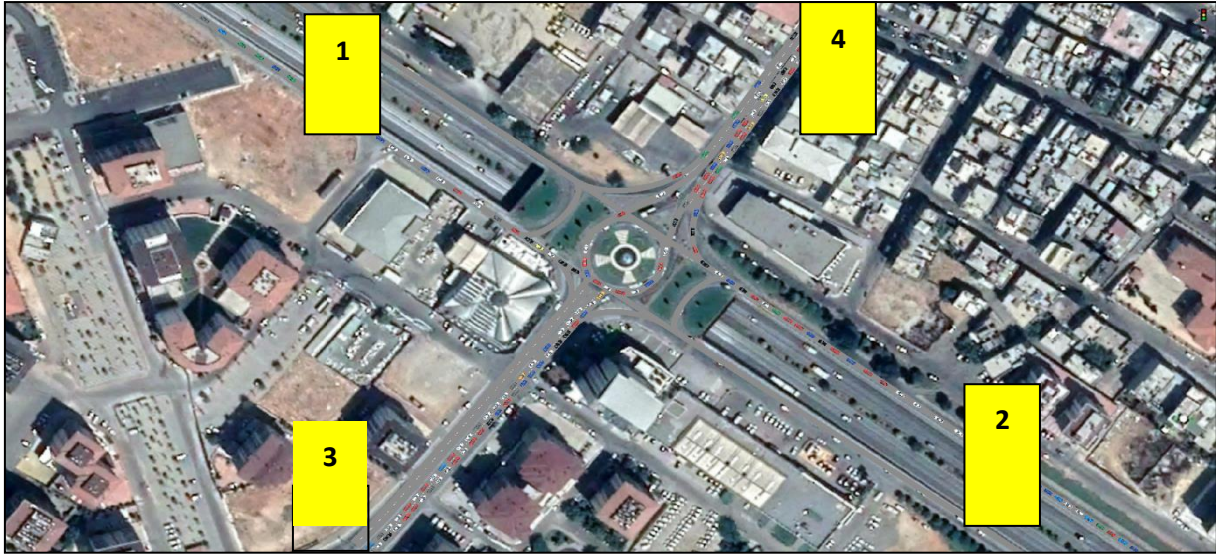
**Figure 6.** Movement Graphic at the 40th (Shell) Junction (Evening Peak Hours)

In addition to the traffic counts at the intersection, it has been determined that a flash signal plan is implemented within the roundabout and on the approach arms. Besides the junction counts and the signal programs implemented, another factor affecting the junction's performance is the observed excess volume at the junction due to the underuse of the underpass for straight-through movements on the East-West axis, leading to increased use of the junction for direct crossings.

## 5. Establishing the Traffic Model

Development of the Traffic Model for Junction 40 (Shell): Initially, in the process of developing the traffic model for Junction 40 (Shell), field surveys were conducted to establish vehicle volumes and turning movement percentages during peak traffic periods. Signal schedules active at the junction were also documented. Additionally, junction inefficiencies were identified through on-site observations, setting the stage for detailed modeling activities.

A three-dimensional representation derived from the model of Junction 40 (Shell)'s current state during the morning peak period is illustrated in Figure 3. As indicated in the figure, problematic traffic conditions are attributed to excessive and unregulated roadside parking on the approach from Olay TV Junction (Approach 3 – Ömer Ersoy Avenue) and towards the Ömer Ersoy Street (Approach 4 – Çetin Emeç Avenue). The adverse impact of this parking situation on traffic flow, along with the roundabout's insufficient capacity, has been verified through both quantitative and visual data.



**Figure 7.** A three-dimensional view from the model established for the junction during the morning peak hour (1,500/3,600 seconds)

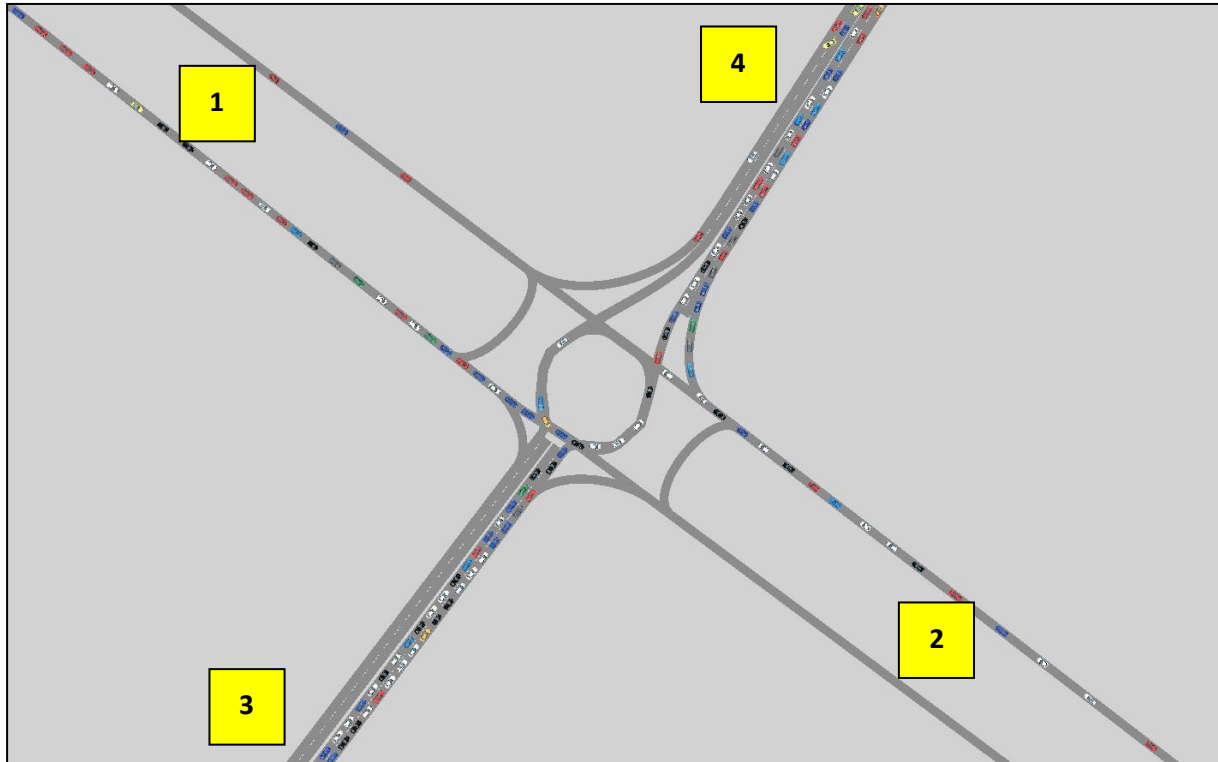
The performance analyses for the Junction 40 (Shell) during the morning peak hour in its current state are provided in Table 5.

**Table 5.** Performance analysis of the current state during the morning peak hour

Parameter	Current Situation Morning Peak Hour
<b>Average Delay per Vehicle (Sec/Veh)</b>	254
<b>Average Stop Delay per Vehicle (Sec/Veh)</b>	153
<b>Average Number of Stops per Vehicle</b>	5
<b>Average Speed (Km/H)</b>	5,60
<b>Total Number of Stops</b>	10.724

The three-dimensional image derived from the model for the Junction 40 (Shell) during the evening peak period is presented in Figure 6. It is evident from the figure that, similar to the morning peak period, congestion occurs on the approach from Olay TV Junction (Approach 3 – Ömer Ersoy Avenue) and towards the Ömer Ersoy Street (Approach 4 – Çetin Emeç Avenue). This congestion leads to a stagnation of traffic within the roundabout, adversely affecting traffic flow as confirmed by both quantitative and visual data.





**Figure 8.** A three-dimensional view from the model established for the junction during the evening peak hour (1,500/3,600 seconds)

The performance analyses for the Junction 40 (Shell) during the evening peak hour in its current state are provided in Table 6.

**Table 6.** Performance analysis of the current state during the evening peak hour

Parameter	Current Situation
	Evening Peak Hour
Average Delay per Vehicle (Sec/Veh)	229
Average Stop Delay per Vehicle (Sec/Veh)	138
Average Number of Stops per Vehicle	5
Average Speed (Km/H)	6,46
Total Number of Stops	10.600

## 6. Capacity Analysis

Observations made on-site, collected data, existing maps, and traffic counts have been utilized to model the designated intersections and corridors using PTV VISSIM traffic micro-simulation software, through which current conditions and capacity analyses have been conducted. In the capacity analyses, the average delay times per vehicle at intersections and the corresponding service levels have been reported.

The service levels corresponding to the calculated delays at intersections have been determined using values from the Highway Capacity Manual (HCM). These mentioned values are provided in Table 7.

**Table 7.** HCM Service Level Ranges

Service Level	Signalized Intersection	Non-Signalized Intersection
<b>A</b>	<10 sec.	<10 sec.
<b>B</b>	11-20 sec.	11-15 sec.
<b>C</b>	21-35 sec.	16-25 sec.
<b>D</b>	36-55 sec.	26-35 sec.
<b>E</b>	56-80 sec.	36-50 sec.
<b>F</b>	>80 sec.	>50 sec.



A/B



C/D



E/F

**Figure 9.** Example representation of service level ranges

Analyses conducted with consideration to the Highway Capacity Manual (HCM) criteria indicate that movements with service levels "E" and "F" are those where the volume to capacity ratio is 1 or greater. The purpose of identifying these movements is to facilitate the improvement of these bottlenecks in future studies through proposed solutions.

### 7. Identification of Problems and Proposed Solutions

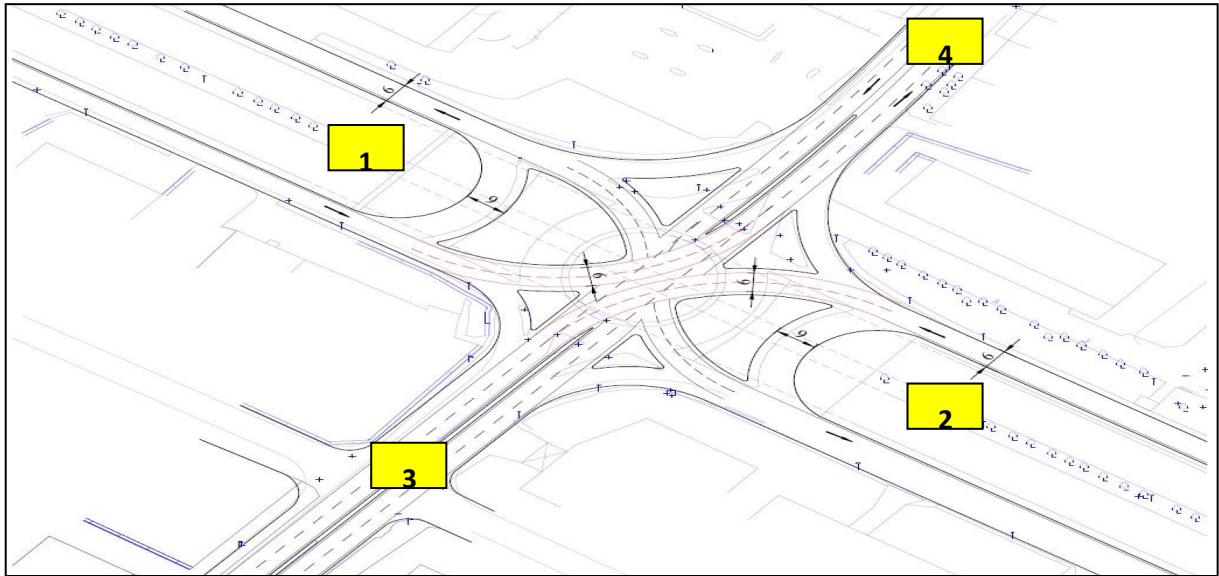
The current state of the Junction 40 (Shell) has been modeled for both morning and evening peak hours, and performance analyses for these peak periods have been conducted. Based on the data obtained and field observations, the following issues have been identified:

- The inadequacy of the existing lane numbers and storage at the approach arms of the junction during the evening peak hours, due to vehicle volumes exceeding 5,000 passenger car units,
- The increase in junction volume caused by vehicles choosing not to use the D-400 highway for through passage and instead passing through the junction,
- Roadside parking up to the approach mouths of Çetin Emeç and Ömer Ersoy Avenues nearly halting traffic flow,
- The lack of sufficient storage capacity within the roundabout,
- Traffic negatively impacted by weaving caused by driver errors such as failure to follow lanes and incorrect lane-changing movements.

The problems with the current state have been identified, and scientifically viable solutions have been proposed. In this regard:

1. Restricting the Adliye – Gar passage (1-2 / 2-1) over the junction to enhance the efficiency of the D-400 through passage and reduce traffic volume at the junction (See Figure 8),
2. Removing the roundabout system in favor of transitioning to a Single Point Intersection design (See Figure 8),
3. Replacing the flash signal plan with a three-phase signal plan,
4. Restricting roadside parking at the approach mouths of Çetin Emeç and Ömer Ersoy Avenues,

have been suggested as solutions to the problems and modeled according to alternative scenarios. A two-dimensional drawing of the proposal scenario is provided in Figure 10.



**Figure 10.** Planned new intersection design for Junction 40 (Shell)

### 7.1. Alternative Scenario and Performance Analysis

Two alternative scenarios have been explored for the Junction 40 (Shell). Given the presence of an underpass at the junction, modifications have been made to parameters such as the number of lanes on side roads, constrained by physical boundaries like the underpass structures, to study various alternatives.

### 7.2. Analysis of Alternative-1 Scenario

A traffic model for the current state of the Junction 40 (Shell) has been established, existing problems identified, and accordingly, some solution proposals have been developed. The testing of these solutions within the traffic model and their performance outcomes are presented under this section. In this alternative for the junction, while the side roads of the D-400 Highway physically accommodate a lane width of 6 meters operating as a single lane in one direction (1x1), they have been modified to operate as two lanes in one direction (1x2).

For the junction, which currently operates with a flash signal plan, the ALT - I scenario envisages a "Single Point (Single Point)" junction design and plans to operate it with a three-phase signal plan. The circuit diagrams planned for the junction are provided in Figures 10 and 11. A period of 80 seconds has been determined for the morning peak hour, while for the evening peak hour, this duration has been set to 82 seconds.

The anticipated phase plans for the morning and evening peak hours under the ALT - I scenario for Junction 40 (Shell) are given in Figure 10. By designating the junction design as Single Point, the



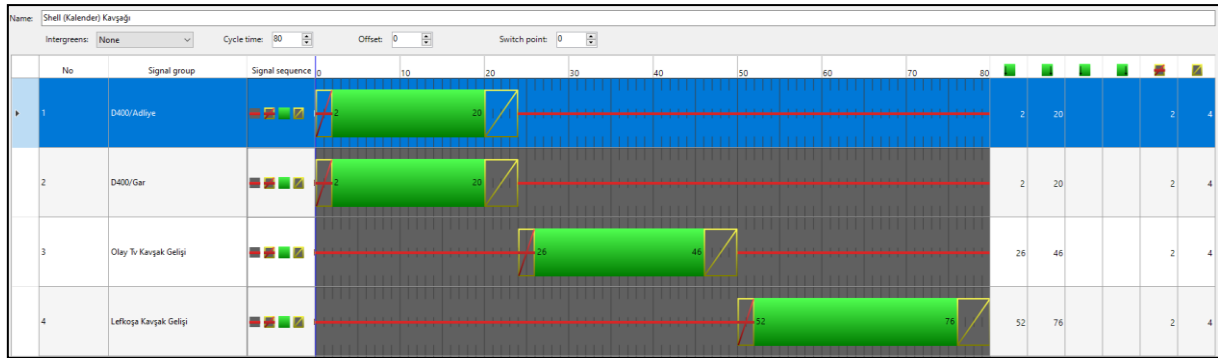
junction, which operates with a flash signal plan on its approach arms in the current state, has been operated with three phases.

**Table 8.** Predicted phase plan for the morning peak hour in Alternative – I scenario

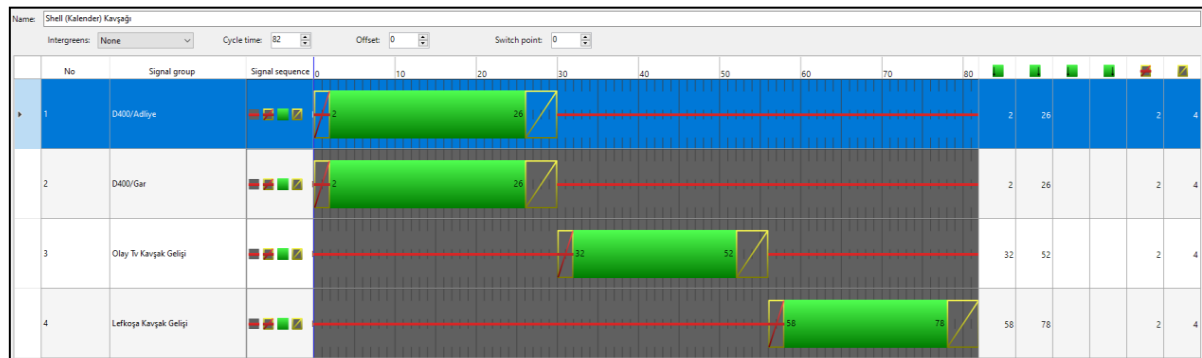
Alternative-1		Phase Plan (Green Times)			
		M.P.T.*	Period S.	E.P.T.*	Period S.
<b>Junction 40D/400-Adliye (Shell)</b>	D/400-Gar	20 sec.	80 sec.	24 sec.	82 sec.
	Olay TV	20 sec.		20 sec.	
	Ömer ERSOY	24 sec.	20 sec.		

\* M.P.T. = Morning Peak Time

\*\* E.P.T. = Evening Peak Time

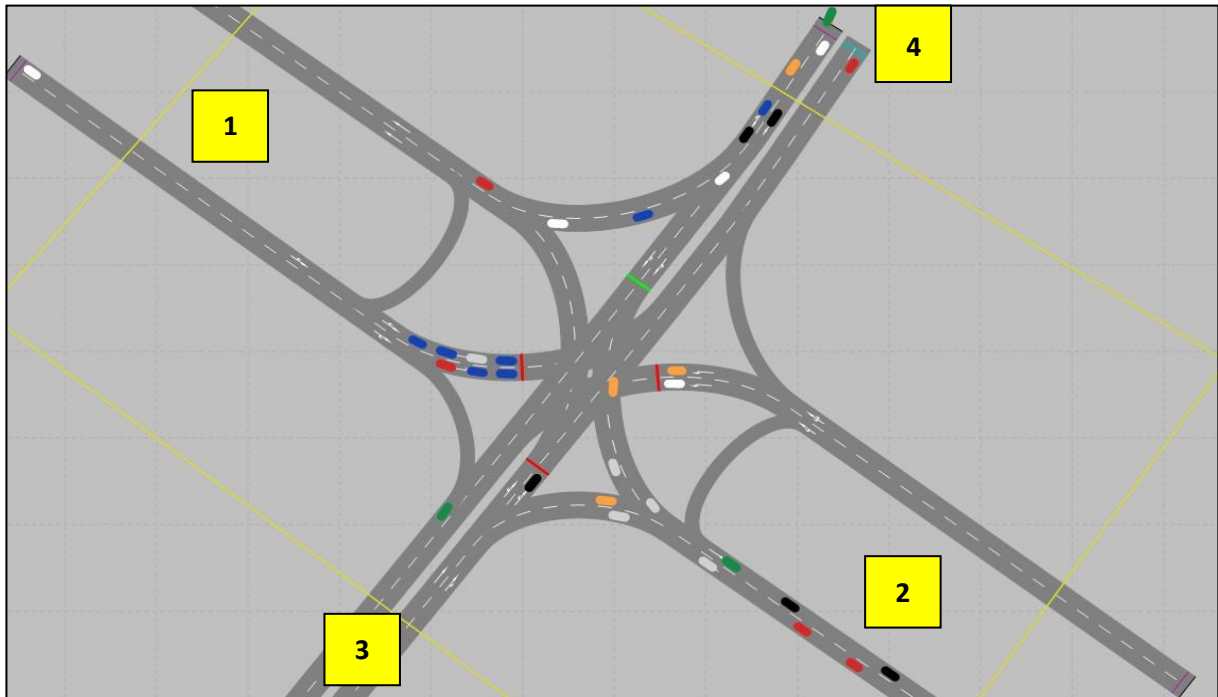


**Figure 10.** ALT - I scenario, the circuit diagram planned for the morning peak hour

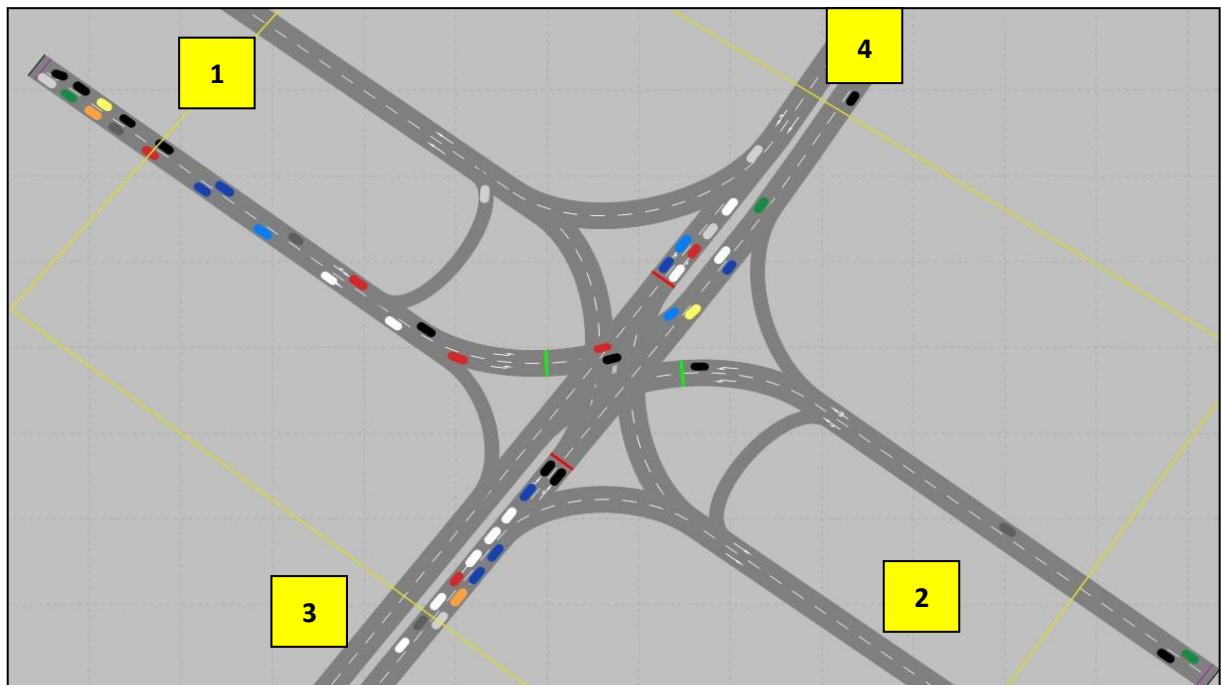


**Figure 11.** ALT - I scenario, the circuit diagram planned for the evening peak hour

The two-dimensional visuals for the morning and evening peak hours taken from the Alternative - I model are provided in Figure 12 and Figure 13.



**Figure 12.** Two-dimensional image from the model established for the morning peak hour in the ALT - I scenario (1,500/3,600 seconds).



**Figure 13.** Two-dimensional image from the model established for the evening peak hour in the ALT - I scenario (1,500/3,600 seconds).

Following the studies conducted on the Junction 40 (Shell), issues were identified, and solutions proposed from a scientific perspective were tested within the model. The performance analyses of the alternative scenario were compared with the current state, calculating the improvement rates among the parameters. These values are provided in Table 9. The analysis of the junction's service level is presented in Table 10.

**Table 9.** Performance analysis of the Shell (Kalender) Intersection in the ALT - I scenario and improvement rates compared to the current situation

Parameter	Current Situation		Alternative-I (Single Point/Double Lane)		Improvement Rate	
	M.P.T.*	E.P.T.**	M.P.T.	E.P.T.	M.P.T.	E.P.T.
Average Delay per Vehicle (Sec/Veh)	254	229	18	31	93%	86%
Average Stop Delay per Vehicle (Sec/Veh)	153	138	12	21	92%	85%
Average Number of Stops per Vehicle	5	5	1	1	90%	84%
Average Speed (Km/H)	5,60	6,46	18,32	19,05	227%	195%
Total Number of Stops	10.724	10.600	1.812	3.713	83%	65%

\* M.P.T. = Morning Peak Time

\*\* E.P.T. = Evening Peak Time

**Table 10.** Comparison of Service Levels for Alternative - I Scenario

Service Level	Current Situation		Alternative - I	
	Morning	Evening	Morning	Evening
	F	F	B	C

Accordingly, it has been determined that the new intersection design implemented in the ALT – I scenario for the Junction 40 (Shell) facilitates better traffic flow compared to the current situation. Additionally, with the new phase plans to be applied during peak hours in the new design, an improvement of 93% in the morning peak hour and 86% in the evening peak hour in average vehicle delay has been observed compared to the current state. Furthermore, an improvement in average speeds at the junction of 227% during the morning peak and 195% during the evening peak has been noted.

While the junction's service level exhibited "F" class performance during both morning and evening peak hours in the current state, the Alternative – I scenario shows the junction's service level improving to "B" during the morning peak and to "C" during the evening peak.

### 7.3. Analysis of Alternative-2 Scenario

Another alternative developed for the Junction 40 (Shell) is named ALT – II. In this alternative scenario for the junction, despite the physical provision of a 6-meter lane width on the side roads of the D-400

Highway, the inflexibility of physical constraints such as the overpass pillars has resulted in these roads continuing to operate as single lane one-way (1x1) as in the current state.

For the junction, which is currently operated with a flash signal plan, a "Single Point (Single Point)" junction design has been planned in the ALT – II scenario, with plans to operate the junction with a three-phase signal plan. Circuit diagrams planned for implementation at the junction under this scenario are provided in Figures 14 and 15. A cycle time of 80 seconds has been determined for the morning peak hour, while for the evening peak hour, this duration has been set at 82 seconds.

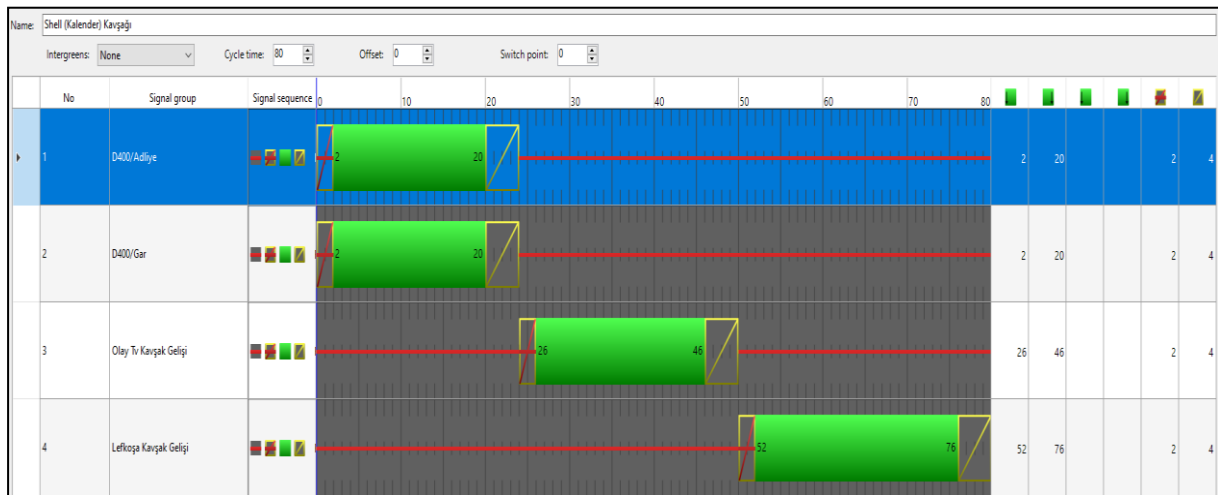
The phase plans anticipated for the morning and evening peak hours in the ALT – II scenario of the Junction 40 (Shell) are presented in Table 11. With the junction design determined to be Single Point, the junction, which previously operated with approach arms using a flash signal plan, has been transitioned to operate with a three-phase signal system.

**Table 11.** Predicted phase plan for the morning peak hour in Alternative – II scenario

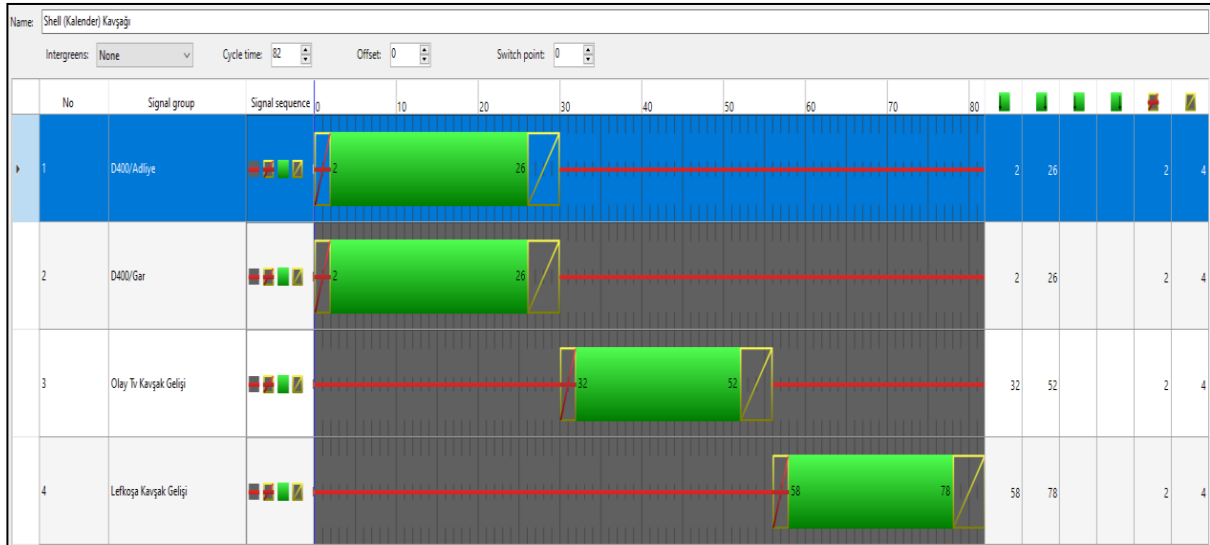
ALTERNATIVE – II		Phase Plan (Green Times)			
		M.P.T.*	Period S.	E.P.T.**	Period S.
<b>Junction 40 (Shell)</b>	D/400-Adliye	20 sec.		24 sec.	
	D/400-Gar	20 sec.	80 sec.	24 sec.	82 sec.
	Olay TV	20 sec.		20 sec.	
	Ömer ERSOY	24 sec.		20 sec.	

\* M.P.T. = Morning Peak Time

\*\* E.P.T. = Evening Peak Time

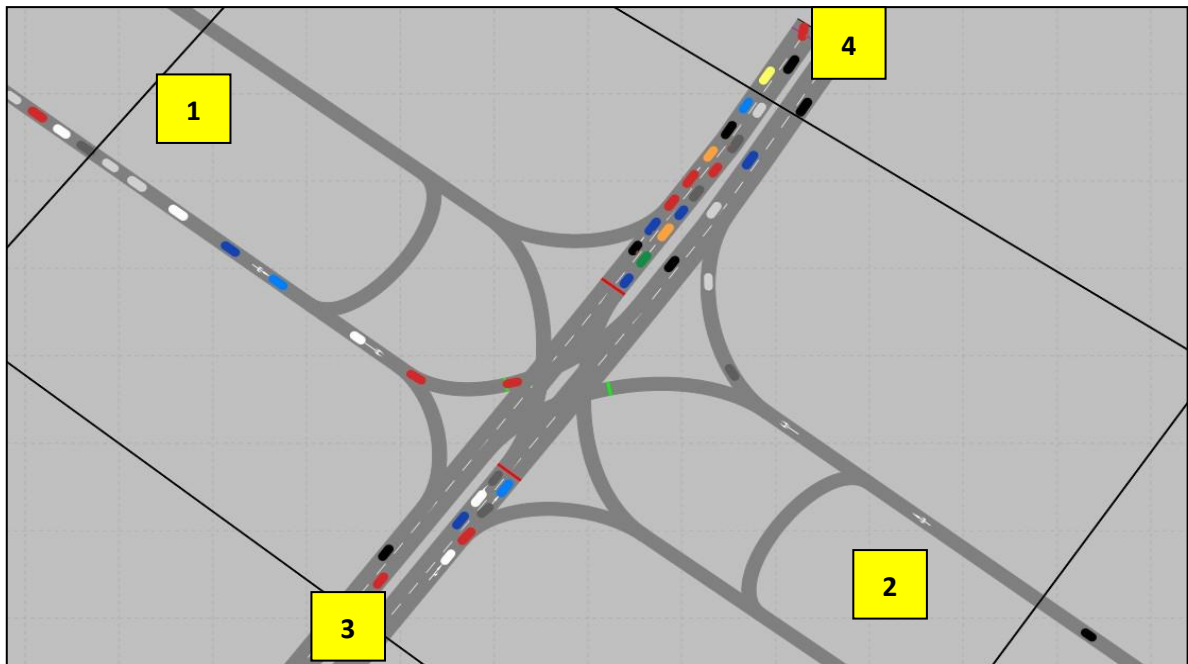


**Figure 14.** ALT - II scenario, the circuit diagram planned for the morning peak hour

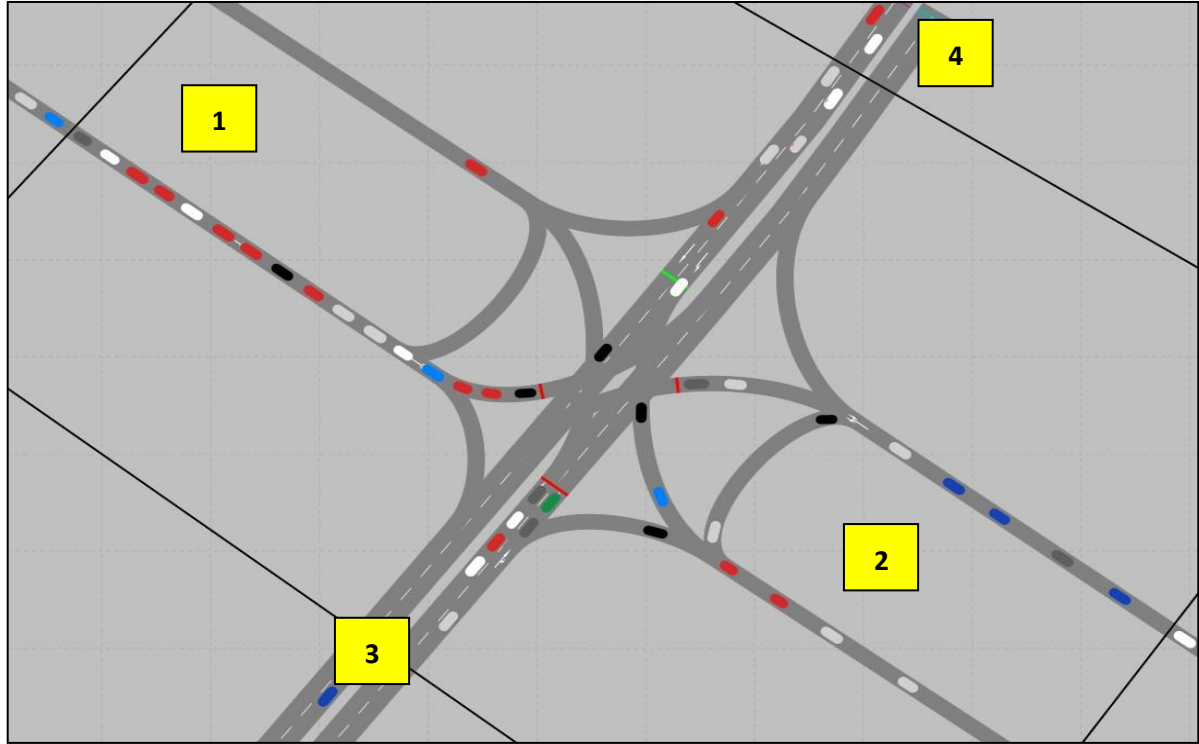


**Figure 15.** ALT - II scenario, the circuit diagram planned for the evening peak hour

The two-dimensional visuals for the morning and evening peak hours taken from the Alternative - II model are provided in Figure 16 and Figure 17.



**Figure 16.** Two-dimensional image from the model established for the morning peak hour in the ALT - II scenario (1,500/3,600 seconds).



**Figure 17.** Two-dimensional image from the model established for the evening peak hour in the ALT - II scenario (1,500/3,600 seconds).

Following the investigations conducted at the Junction 40 (Shell), issues have been identified, and solutions proposed from a scientific perspective were tested within the model. The performance analyses of the alternative scenario were compared with the current situation to determine the rates of improvement across various parameters. These figures are provided in Table 12. The analysis of the junction's service levels is presented in Table 13.

**Table 12.** Performance analysis of the Junction 40 (Shell) in the ALT - II scenario and improvement rates compared to the current situation

Parameter	Current Situation		Alternative-I (Single Point/Double Lane)		Improvement Rate	
	M.P.T.*	E.P.T.**	M.P.T.*	E.P.T.**	M.P.T.*	E.P.T.**
Average Delay per Vehicle (Sec/Veh)	254	229	31	30	88%	87%
Average Stop Delay per Vehicle (Sec/Veh)	153	138	21	20	86%	85%
Average Number of Stops per Vehicle	5	5	1	1	86%	84%
Average Speed (Km/H)	5,60	6,46	19,00	19,67	239%	204%
Total Number of Stops	10.724	10.600	2.376	3.119	78%	71%

\* M.P.T. = Morning Peak Time

\*\* E.P.T. = Evening Peak Time

**Table 13.** Comparison of Service Levels for Alternative - II Scenario

Service Level	Current Situation		Alternative – II	
	Morning	Evening	Morning	Evening
	F	F	C	C

Accordingly, for the Junction 40 (Shell), the new intersection design applied in the ALT – II scenario has been found to facilitate a better flow of traffic compared to the existing condition. Additionally, with the new design and phase plans implemented during peak hours, an improvement in the average delay per vehicle of 88% during the morning peak and 87% during the evening peak has been identified in comparison to the current state. Moreover, an improvement in average speeds at the junction has been observed, with an increase of 239% during the morning peak and 204% during the evening peak.

While the junction's service level displayed "F" class performance during both morning and evening peak hours in the current situation, in the Alternative – I scenario, the junction's service level improved to "C" during both peak periods.

## 8. Conclusion

Following the studies conducted at the Junction 40 (Shell), issues were identified, and solutions proposed from a scientific perspective were tested within the model. The performance analyses of the alternative scenario were compared with the current situation, and the rates of improvement among the parameters were calculated. These figures are provided in Table 14. The analysis of the junction's service levels is presented in Table 15.

**Table 14.** Performance analysis of the Junction 40 (Shell) in the ALT - II scenario and improvement rates compared to the current situation

Parameter	Current Situation		Alternative-I (Single Point/Double Lane)		Improvement Rate	
	<i>M.P.T.*</i>	<i>E.P.T.**</i>	<i>M.P.T.*</i>	<i>E.P.T.**</i>	<i>M.P.T.*</i>	<i>E.P.T.**</i>
<b>Average Delay per Vehicle (Sec/Veh)</b>	254	229	31	30	88%	87%
<b>Average Stop Delay per Vehicle (Sec/Veh)</b>	153	138	21	20	86%	85%
<b>Average Number of Stops per Vehicle</b>	5	5	1	1	86%	84%
<b>Average Speed (Km/H)</b>	5,60	6,46	19,00	19,67	239%	204%
<b>Total Number of Stops</b>	10.724	10.600	2.376	3.119	78%	71%

\* **M.P.T. = Morning Peak Time**

\*\* **E.P.T. = Evening Peak Time**



**Table 15.** Comparison of Service Levels for Alternative - II Scenario

Service Level	Current Situation		Alternative – II	
	Morning	Evening	Morning	Evening
	F	F	C	C

Accordingly, The Alternative 1 scenario involves redesigning the intersection with a Single Point Urban Interchange (SPUI) design and utilizing dual-lane roads. This scenario achieved a reduction in average vehicle delay by 93% during morning peak hours and 86% during evening peak hours, while increasing average speeds by 227% and 195%, respectively. However, physical limitations and potential challenges during the construction process were considered in the implementation of this scenario.

The Alternative 2 scenario also adopts the Single Point Urban Interchange (SPUI) design but maintains single-lane side roads due to existing physical constraints. This scenario achieved a reduction in average vehicle delay by 88% during morning peak hours and 87% during evening peak hours, while increasing average speeds by 239% and 204%, respectively. The primary reasons for preferring Alternative 2 are as follows:

- Physical Limitations and Feasibility:** Alternative 2 offers a more feasible solution by considering existing physical constraints. Due to physical barriers such as the pillars of the overpass, it is not possible to convert the side roads to dual lanes. Therefore, a single-lane arrangement is considered a more realistic and feasible solution.
- Construction Process and Traffic Management:** Implementing Alternative 2 will result in less complexity and fewer disruptions to traffic flow during the construction process. This will allow for more effective management of the existing traffic in the area.
- Performance Improvements:** Alternative 2 provides performance improvements comparable to those of Alternative 1. The improvements in average vehicle delay and average speeds elevate the intersection's level of service to "C" and significantly enhance traffic flow.

In conclusion, the Alternative 2 scenario has been identified as a more suitable and feasible solution for optimizing traffic flow at the Shell Intersection. This study aims to contribute to the improvement of urban traffic management through the integration of intelligent transportation systems and geometric arrangements. Future studies may conduct more comprehensive analyses to evaluate the long-term effects of the proposed arrangements and investigate their applicability to similar intersections.

## Proposals

The transition to the proposed Single Point intersection design as an alternative to the current state at the Junction 40 (Shell) could encounter the following issues:

The change in the junction design will initiate a construction process for a certain period, presenting a challenge for managing existing traffic flow.

Shell Petrol, located within the Zeytinli neighborhood and giving its name to the junction, may economically suffer from the fieldwork.

Aydemir Automotive, situated on the approach arm of the junction, could face inaccessibility to its entrance and exit points during the construction period.

Public transport vehicles using the junction will need alternative routes during construction. Although they can return to their original routes after construction, the route coded "S07" will need to utilize the underpass on the D/400 Highway for through passage.



Vehicles coming from the Courthouse or K sget Industrial Site routes and using the junction to access Zeytinli or M cabitler neighborhoods will have to extend their routes, performing a loop movement with the new junction design.

### Researchers' Contribution Statement

All authors equally contributed to the study.

### Acknowledgments and/or disclaimers,

Authors would like to extend their gratitude to the Gaziantep Metropolitan Municipality Transportation Department for providing data to be used throughout this study.

### Conflict of Interest Statement,

There is no conflict of interest with any parties.

### References

**Akçelik, R.** (2005) *Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals*.

Akçelik, R. (2011) *An Assessment of the Highway Capacity Manual 2010 Roundabout Capacity Model*.

**Akmaz, M., A.** (2012) *Konyanin önemli sinyalize kavşaklarının bilgisayar programı ile incelenmesi*. Available at: <https://atif.sobiad.com/index.jsp?modul=kullanici-ayrinti&username=Muhamet%20Mevl%C3%BCt%20AKMAZ&alan=fen>.

**Aktaş, Y., Aslan, H. and Pistil, F.** (2017) 'Sinyalize Kavşaklarda Meydana Gelen Taşıt Gecikmelerinin VISSIM Simülasyon Modellenmesi', *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan)* [Preprint]. Available at: <https://isites.info/PastConferences/ISITES2017/ISITES2017/Allpapers/B8-ISITES2017ID71.htm>.

**Arabaci, E. et al.** (2020) 'Sinyalize Kavşaklarda Bekleyen Taşıtların  evresel Etkileri: Dört Fazlı Bir Kavşak  zerinden Durum Değerlendirmesi', *Volume: 3, Issue: 2* 229-240 [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.31200/makuubd.570622>.

**Aydın, M.M., Aydoğdu, İ. and Yıldırım, M.S.** (2022) 'Sinyalize kavşaklarda ülkelere göre gecikme ve kuyruk uzunluğu denklemleri geliştirilmesinin gerekliliği üzerine bir araştırma', *G m şhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), pp. 597–613. Available at: <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.997924>.

**Bas, F. et al.** (2020) 'Kentiçi Kavşakların Mikrosim lasyon Y ntemiyle Modellenmesi: Erzurum İli  rneği', *European Journal of Science and Technology*, pp. 444–451. Available at: <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf58>.

**Benekohal, R. and Treiterer, J.** (1988) 'CARSIM. CAR-following model for SIMulation of traffic in normal and stop-and-go conditions', *Transportation Research Record*, pp. 99–111.

**Boxill, S.A. and Yu, L.** (2000) 'An evaluation of traffic simulation models for supporting its development', in. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/an-evaluation-of-traffic-simulation-models-for-its-boxill-yu/000c115d77f12a7976276bf314c9dc220961a6ab>.

**Cakici, Z. and Murat, Y.** (2015) *Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi*.

**Çakıcı & Murat** (2020) *Sinyalize kavşaklar için optimizasyon tabanlı trafik yönetim modeli | GCRIS Database | Pamukkale University*. Available at: <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/28648> (Accessed: 11 July 2024).

**Çetin, M.** (2015) *Sinyalize kavşaklarda doygun akım oranının belirlenmesinde yeni bir yaklaşım*. Doctoral Thesis. Pamukkale Üniversitesi. Available at: <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/50104>.

**Çetinkaya, G.** (2008) 'Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması'. Available at: <http://hdl.handle.net/11527/4881>.

**Fellendorf, M. and Vortisch, P.** (2011) 'Microscopic traffic flow simulator VISSIM', in, pp. 63–93. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_2).

**Gettman, D.** (2003) 'Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models', *Transportation Research Record*, 1840. Available at: <https://doi.org/10.3141/1840-12>.

**Hoogendoorn, S. and Bovy, P.** (2001) 'State-of-the-art of vehicular traffic flow modeling', *J. Syst. Cont. Eng.*, 215, pp. 283–303. Available at: <https://doi.org/10.1243/0959651011541120>.

**Ilıcalı, M. and Saraç, S.** (2019) 'Trafik Sıkışıklığının Azaltılmasında Ulaşım Çözümlerinin Etkisi', *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 2, pp. 93–107. Available at: <https://doi.org/10.38002/tuad.567060>.

**Mahmassani, H.** (2001) 'Dynamic Network Traffic Assignment and Simulation Methodology for Advanced System Management Applications', *Networks and Spatial Economics*, 1, pp. 267–292. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1012831808926>.

**Murat, Y. and Cakici, Z.** (2017) *Sinyalize Kavşaklarda Durma Gecikmesi ve Kontrol Gecikmesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*.

**Özdirim, M.** (1972) 'Türkiyede trafik sinyalizasyonunun formüle edilmesi'. Available at: <http://hdl.handle.net/11527/16852>.

**Papageorgiou, M. et al.** (2004) 'Review of road traffic control strategies', *Proceedings of the IEEE*, 91, pp. 2043–2067. Available at: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.819610>.

**Shahgholian, M. and Gharavian, D.** (2018) 'Advanced Traffic Management Systems: An Overview and A Development Strategy'. arXiv. Available at: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.02530>.

**Simsir, F., Ozkaynak, E. and Ekmekci, D.** (2013) *Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyon Sisteminin Modellemesi ve Benzetimi*.

**Sönmez, C.** (2015) 'Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akımının Modellenmesi'. Available at: <http://hdl.handle.net/11527/10287>.

**Toğaç, M.G.** (2023) 'Gaziantep İli Yapay Zeka Tabanlı Akıllı Ulaşım Sistemleri İle Adaftif Sinyalizasyon Kontrolü ve Simülasyonu', 2023 [Preprint].

**TÜİK Kurumsal** (2022). Available at: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685>.

**Webster, F.V.** (1958) *Traffic Signal Settings*. H.M. Stationery Office.

**Zeydan, Ö. et al.** (2017) *SIDRA INTERSECTION Programı ile Kavşak İyileştirmesinin Taşıt Emisyon Miktarlarına Etkisi: Zonguldak Örneği*.

**Ziboon, A.R.T** (2019) *Traffic Performance Evaluation and Analyses of Al-Fallah Intersection in Baghdad City Utilizing SYNCHRO.10 Software.* Available at: [https://www.researchgate.net/publication/337903601\\_Traffic\\_Performance\\_Evaluation\\_and\\_Analyses\\_of\\_Al-Fallah\\_Intersection\\_in\\_Baghdad\\_City\\_Utilizing\\_SYNCHRO10\\_Software](https://www.researchgate.net/publication/337903601_Traffic_Performance_Evaluation_and_Analyses_of_Al-Fallah_Intersection_in_Baghdad_City_Utilizing_SYNCHRO10_Software).

## Research Article

**Socio-Economic Impacts Resulting From The Integration Of Artificial Intelligence Into Electronic Surveillance Systems In Traffic**Mesut Samastı<sup>1,\*</sup><sup>1</sup>Cerrahpaşa Department of Industrial Engineering, TÜBİTAK Turkish Institute of Management Sciences, Istanbul University, Istanbul, Turkey\*Correspondence: [mesutsamasti@gmail.com](mailto:mesutsamasti@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1482010

**Abstract:**

Traffic management is becoming increasingly difficult due to the increasing population and number of vehicles. In the last decade, the use of electronic surveillance systems has increased in the effective and efficient management of traffic management systems. These systems contribute to traffic regulations by monitoring traffic violations, taking necessary actions and imposing sanctions. The active use of these systems increases drivers' compliance with traffic rules, which has a positive impact on the reduction of losses due to traffic accidents. Artificial intelligence (AI) applications, which have become widespread in various fields in recent years, are expected to increase the benefits to be obtained by using them in traffic electronic surveillance systems. In this study, the socio-economic impacts of AI integration into traffic surveillance systems are analyzed in detail in terms of mobility, economy, environment, health and quality of life.

**Keywords:** Artificial intelligence, socio-economic impact, life quality**Trafikteki Elektronik Gözetim Sistemlerine Yapay Zeka Entegrasyonu Sonucu Elde Edilecek Sosyo-Ekonomik Etkiler****Özet:**

Artan nüfus ve araç sayısı nedeniyle trafik yönetimi giderek zorlaşmaktadır. Son on yılda, trafik yönetim sistemlerinin etkin ve verimli şekilde yönetilmesinde elektronik gözetim sistemlerinin kullanımı artmıştır. Bu sistemler, trafik kural ihlallerini izleyerek gerekli aksiyonları almakta ve yaptırımlar uygulayarak trafik düzenlemelerine katkı sağlamaktadır. Bu sistemlerin aktif olarak kullanılması, sürücülerin trafik kurallarına uyumunu artırmakta ve bu da trafik kazalarına bağlı kayıpların azalmasına olumlu etki yapmaktadır. Son yıllarda çeşitli alanlarda yaygınlaşan yapay zeka (AI) uygulamalarının trafik elektronik gözetim sistemlerinde kullanılmasıyla elde edilecek faydanın daha da artacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada, trafikteki elektronik gözetim sistemlerine yapay zeka entegrasyonu sonucu elde edilecek sosyo-ekonomik etkiler mobilite, ekonomi, çevre, sağlık ve yaşam kalitesi boyutları açısından detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay zeka, sosyoekonomik etki, yaşam kalitesi

\* Corresponding author.

E-mail address: [mesutsamasti@gmail.com](mailto:mesutsamasti@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-4900-8279 (in hierarchical order)

Received 10.05.2024; Received in revised form 26.06.2024; Accepted 13.07.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Introduction

The Electronic Traffic Control and Fault Detection/Analysis System (EDS) implementation, supported by Artificial Intelligence, serves as a supervision system designed to manage traffic flow, optimize transportation, detect illegal vehicle movements and apply the necessary sanctions and make urban life in accordance with the normative structure within certain rules. This system detects vehicles with image processing technology and checks whether the relevant vehicle is moving within the specified rules. Due to the deterrent penalty policies applied to vehicles that violate the rules, it creates a compelling factor for the drivers of vehicles that violate the rules to correct their behavior over time. Thus, it helps to ensure the safety of life and property by preventing accidents caused by vehicles causing traffic disorder.

Red light violation detection system, one of the EDS implementations, reduces the number of fatal accidents by reducing the severity of accidents. In a study, it was found that this system reduced right-angle crashes at intersections by 25% and rear-end crashes by 15% (Council et al, 2005; Decina et al, 2007; Poole et al, 2012). In Edmonton, Canada, where a red light violation system and a speed violation detection system were integrated, total crashes decreased by 25%, angle crashes by 33% and rear-end crashes by 11% (Contini and El-Basyouny, 2016).

There are many benefits of electronic monitoring systems (EDS) and fault detection/analysis systems, and studies from around the world attest to this. It positively influences driver behavior, reducing high speeds, reducing accident severity, reducing the number of accidents and enabling rapid detection of vehicle faults.

Traffic management and proper behavior in the region is important for reducing delays and ensuring shorter and safer journeys. While this may be small on an individual basis, it is a significant gain when the population of the region is taken into account. Reduced fuel consumption and emissions are also positive for the environment and the economy. Some of the main expectations and benefits of EDS and fault detection/analysis system projects can be as follows:

- Increase in the rate of compliance with traffic rules by people living in or traveling through the region
- Facilitating the operation of traffic management practices in the region at the desired level
- Reduced traffic congestion and delays
- Reduced travel times
- Saving time
- Reduced fuel consumption and gas emissions
- Decrease in traffic accidents
- Easy identification of accident locations

### 1.1. Literature

Studies on traffic problems with artificial intelligence approaches have been examined in detail. Amiri et al. (2021) studied age, education level, average household income and other factors that cause the occurrence of traffic accidents with artificial neural networks considering public health. It was observed that male population density, unemployment rate and education level are among the important factors affecting traffic accidents (Amiri et al, 2021). Akgüngör and Doğan (2010) used artificial neural networks to predict the number of accidents, fatalities and injuries in Ankara, Turkey using historical accident data (Akgüngör and Doğan, 2010). Kushwaha and Abirami (2023) proposed an intelligent system to reduce the severity of accidents based on a machine learning model to prevent loss of life and property due to traffic accidents. In the developed model, artificial neural networks showed an accuracy of 0.856 (Kushwaha and Abirami, 2023). Meenu and Neresh (2022) conducted a socioeconomic analysis of deaths and injuries due to traffic accidents. By conducting interviews with individuals who were disabled after the accident, medical, legal, professional, social, economic problems experienced after traffic accidents were examined and it was stated that socioeconomic negative effects will decrease with the widespread use of autonomous vehicles supported by artificial intelligence (Meenu and Neresh, 2022). Ulu et al. (2024) developed a three-stage geohash-based model using decision tree (DT), k-nearest neighbor (k-NN), random forest (RF) and support vector machine (SVM) algorithms to predict the locations of traffic incidents, including traffic failures and other events.

Prasad Das et al. (2021) conducted a study on health problems caused by traffic noise with "two-staged Structural Equation Modeling-Artificial Neural Network". The statistical relationship of the disorders with the duration of exposure to traffic noise, occupation, sleep disturbance and gender were analyzed (Prasad Das et al, 2021). Moncayo et al. (2017) modeled the effect of road noise on a person's willingness to pay using artificial neural networks. A prediction model for willingness to pay based on the duration of exposure to a modeled noise and demographic and socioeconomic conditions was developed (Moncayo et al, 2017). Gu et al. (2020) conducted studies to predict traffic congestion by taking into account the travel time of the public transport vehicle between two stops to improve the quality of service with a focus on travel time and reliability of public transport systems (Gu et al, 2020). Mondal and Rehena (2020) focused on the traffic congestion problem to improve the quality of life of citizens within the scope of the smart city concept. Existing infrastructure and resources were optimized for traffic management through data collection, storage, processing and application (Mondal and Rehena, 2020).

Herath and Mittal (2022) drew attention to the importance of artificial intelligence effects on smart city applications in health, education, environment, waste management, agriculture, mobility, transportation, risk management, and risk management in order to make life in cities more cost-effective and comfortable with the increasing population in cities (Herath and Mittal, 2022). Olatode et al. (2023) developed a hybrid model with artificial neural networks and PSO to reduce traffic congestion caused by short and long trucks on highways and to reduce the number of accidents involving vehicles (Olayode et al, 2022). Dodia et al. (2023) studied variable duration and dynamic traffic lights that will allow vehicles with priority to move faster in emergency situations instead of fixed lighting times at traffic lights. After the emergency vehicles with priority to pass are detected by the system, the light durations are changed by intelligent systems. Simulation studies for the related topic have shown clear improvements in vehicle waiting times Dodia et al, 2023). Cunneen et al. (2019) put forward a conceptual discussion on the ethical shortcomings of risk-reducing decision-making mechanisms of autonomous vehicles socially supported by artificial intelligence (Cunneen et al, 2019). Ulu et al. (2022), BWM and SWARA methods were used to calculate the weights of factors affecting traffic accidents (Ulu et al, 2022).

Cunneen, M. (2023) emphasized that the widespread use of autonomous vehicles will have significant economic, environmental and social impacts due to increased productivity and supply chain efficiency (Cunneen, 2023). Biagioni et al (2021), in order to achieve energy efficiency in the integrated mobility system, they put forward the needs in the research to be carried out with machine learning and artificial intelligence methods of big data collected from the sources of the system (Biagioni et al, 2021).

## 2. Case Study Area

In Turkey, 30 out of 81 provinces have electronic monitoring systems (EDS). There are 1257 fixed and mobile EDSs covering 4,682 km<sup>1</sup>, of the 61,729 km road network (KGM, 2023) in Turkey (EGM). Figure 1 shows the distribution of EDS implementations in Turkey.



**Figure 1.** EDS Usage in Turkey <sup>2</sup>

<sup>1</sup> <https://www.egm.gov.tr/hiz-ihlallerine-yonelik-pts-eds-ortalama-hiz-ihlal-tespit-sistemleri-devrede>

<sup>2</sup> <https://onlineislemler.egm.gov.tr/trafik/sayfalar/edsharita.aspx>

Istanbul is the province where EDS implementations are used most intensively. With EDS implementations, critical road sections and important intersections in Istanbul are monitored 24/7 (İBB, 2023). There are 457 EDSs throughout Istanbul. This figure corresponds to 36.4% of the total number of EDS implementations in Turkey. Similarly, in Konya, where there are EDS implementations, the number of daily speed limit violations has decreased from 21,000 to 1,000 with the EDS system providing 24/7 service. The use of the EDS system also led to a 54% to 63% reduction in injury and fatal accidents. In Konya, there are 20 average speed violation detection systems on 6 different streets<sup>3</sup>. In Kayseri, there are examples of speed, turning and parking violation detection systems.

### 3. Socioeconomic Impact Analysis of EDS

The behavior of people who do not follow traffic rules can be detrimental to the community and the region and can have negative impacts on other people. For example, when an accident occurs at a signalized intersection due to a red light violation, the vehicles involved in the accident are damaged, while other drivers, pedestrians and businesses using the intersection are also affected. Similarly, other traffic violations have direct and indirect social, economic and environmental impacts. Regionally, EDS aims to identify and punish red light and hatched area violations at signalized intersections, parking violations in no-parking zones, speed violations on designated road axes, and other traffic violations through mobile enforcement. In this way, traffic management is made more effective by reducing the number of people who do not obey traffic rules. The electronic surveillance system should serve reliably at appropriate points to help people avoid unlawful behavior in traffic. This contributes to the maintenance of traffic order. In addition, electronic surveillance systems can be used to track and trace people who pose a danger to public safety or illegal or stolen vehicles. Therefore, these systems are known to contribute to public safety. Considering all these factors, it is thought that the quality of life of people living or traveling in the region will increase. This study analyzes the socio-economic impacts of the operational EDS implementations.

#### 3.1. Impact of EDS Implementation on National Economy

The introduction of Artificial Intelligence Supported EDS has effects on the national economy. Since the rate of compliance with traffic rules will increase with the EDS system, the number of accidents will decrease. Apart from the material losses due to traffic accidents, economic losses occur due to the loss of labor force in fatal and injury accidents. In addition, the economic value of time in traffic due to accidents and accidents with injuries increase expenditures in the health sector.

In the feasibility studies conducted for EDS and Fault Detection applications, it is predicted that there will be a decrease in traffic fines by 3.8% in the first year, 3.3% in the second year and 2.8% in the third year (TÜSSİDE, 2021). According to TUIK, it is known that there were 26,482,847 vehicles in 2021 and 1,234,327 accidents occurred (TUIK, 2022). Considering these data, the increase in the number of vehicles and the number of accidents predicted to occur accordingly were calculated. In the report prepared by the General Directorate of Security, 288,118 accidents with material damage took place in 2022, excluding accidents in which people agreed among themselves and filed a report (EGM, 2022). As a result of accidents, 2,282 people lost their lives and 291,151 people were injured. Since the data of the individuals who died within 30 days in the health units to which they were referred after the accident were not available for 2022 and the following years, only the data of the individuals who died at the accident scene were included in the statistics.

In the accident data, when the accidents in which people filed a report among themselves are analyzed, it is seen that there were 941,723 accidents with material damage on average annually between 2019 and 2021 (TUIK, 2021).

Using accident data from previous years, the number of accidents expected to occur until 2025 was calculated. Considering the projected reduction rates in these accident numbers, estimates were made for the number of accidents with material damage, injuries and fatalities. The data used in Table 1,

<sup>3</sup> <http://www.konya.pol.tr/konya-emniyet-eds-elektronik-denetleme-sistemleri-trafik-polis-radar>

which is prepared for the estimation of the change in accident statistics by years for Turkey in general, is compiled from the reports prepared by TUIK (TUIK, 2022a; TUIK, 2021b; TÜSSİDE, 2021).

**Table 1.** Estimation of change in accident statistics by years (Turkey-wide)

	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Population</b>	84.680.273	85.279.553	85.883.074	86.490.866	87.102.960
<b>Number of Vehicles</b>	25.249.119	26.482.847	27.776.858	29.134.097	30.557.653
<b>Number of Accidents</b>	1.110.241	1.234.327	1.372.282	1.525.655	1.696.170
<b>Number of accidents with material damage</b>	998.390	941.724	924.549	954.888	940.387
<b>Accident Rate</b>	<b>4,0%</b>	<b>3,6%</b>	<b>3,3%</b>	<b>3,3%</b>	<b>3,1%</b>
<b>Reduction Rate of Accidents with EDS</b>			3,8%	3,3%	2,8%
<b>Number of fatal accidents (person)</b>	2362	2282	2.394	2.510	2.633
<b>Number of injured</b>		291.151	280.087	270.844	263.261

The annual cost of traffic accidents to the national economy is around \$15 billion (Annual damage of traffic accidents to the economy). In case of injuries due to traffic accidents, accident-related health expenses are €2,500 per person, and €1,800 per person is lost due to loss of productivity<sup>4</sup>. For deaths due to traffic accidents, a calculation was made based on the current minimum wage (8,500TL) (Minimum wage x Defect rate 20% x Disability rate 60% x 37 (a 30-year-old person's right to passive work for 7 years)). After calculating the unit costs, the savings to be achieved with reductions of 3.8%, 3.3% and 2.8% depending on the years were calculated.

For the socioeconomic analysis of the AI-supported EDS application, calculations were made by taking into account the provinces served by the ESD system. There are EDS applications in 30 different provinces across Turkey. A certain ratio was obtained for each province by proportioning the lengths of the highway lengths of these provinces and the lengths of the road sections where EDS monitoring is carried out. By multiplying the province-based statistics on traffic accidents by the ratio, the accident rates on roads where EDS implementation is effective were calculated. The economic gains obtained after these calculations are given in Table 2. In the preparation of this table, reports of TurkStat and TUSSIDE as well as data obtained from insurance companies were used .

**Table 2.** Yearly savings with EDS (provinces with EDS implementation)

Description	2023	2024	2025
<b>Number of Accidents</b>	44.490	46.664	48.944
<b>Number of fatalities at the time of the accident</b>	162	169	178
<b>Financial savings upon death</b>	11.160.638	21.753.818	31.948.144
<b>Number of injured</b>	34.615	38.484	42.785
<b>Financial savings due to injury</b>	68.597.345	142.493.492	220.894.507
<b>Labor productivity loss material savings</b>	49.390.088	102.595.314	159.044.045
<b>Accident cost savings</b>	10.922.089.245	10.978.856.861	11.035.624.477

\* The number of vehicles on roads with EDS application in 2022 is 12,537,050, the number of accidents is 42,417, the number of fatalities is 156 and the number of injured people is 31,136.

<sup>4</sup> Social Security Institution's annual health expenses due to traffic accidents, <https://www.sdplatform.com/Dergi/1022/SGKnin-odedigi-trafik-kazalarina-bagli-saglik-giderleri.aspx>



With EDS, the average speed of vehicles will increase and the time they stay in traffic will decrease as the rate of compliance with traffic rules increases and accidents decrease. This will also reduce fuel consumption, which is an imported input. It is estimated that the fuel savings to be achieved due to the decrease in the time spent in traffic will be around 463,393 tons per year on average. The calculations take into account the fuel savings that vehicles in provinces with EDS implementation will achieve depending on the time they will save in traffic. The economic value of this fuel is around 32.5 billion TL for 3 years. Table 3 shows the annual value of the fuel savings to be achieved.

**Table 3.** Fuel savings with EDS (Annual)

	2023	2024	2025
<b>Fuel Savings (LT)</b>	243.609.372	470.316.712	679.254.149
<b>Fuel Savings Amount (TL)</b>	5.690.714.924	10.986.598.383	15.867.376.923
<b>Fuel Saving Approval</b>	1,40%	2,59%	3,59%

When the economic impact of EDS implementation at the national level is analyzed, there is a potential gain of approximately 32.5 Billion TL until the end of 2025.

### 3.2. Impact of EDS Application on Mobility

It was mentioned in the previous sections that with EDS, the average speed of vehicles will increase and the duration of their stay in traffic will decrease, while the rate of compliance with traffic rules will increase and accidents will decrease. The average annual CO<sub>2</sub> emission of a vehicle is around 4.6 metric tons per year and emits 404 g of CO<sub>2</sub> for every 1.6 km. Taking the average number of working days per year as 250, it is calculated that a vehicle travels an average of 73 km per day. The speed values of some of the main transportation arteries during peak hours on weekdays were checked via Google Maps application and average speeds were calculated. As a result of these calculations, it was observed that there is an average traffic flow of 36 km/h during peak hours. When the travel time was calculated according to the average daily travel distance, it was found that an average of 121 minutes was spent in traffic. When the gains to be achieved with EDS are analyzed depending on the years, it is estimated that by 2025, the traffic speed will be 39.68 km/h, the travel time will decrease to 110 minutes and the time spent in traffic will decrease by 11.27 minutes. By the end of 2025, the economic value of this time saved is estimated to be approximately 71.1 billion TL. Table 4, prepared within the scope of this study, shows the impact of EDS on mobility and travel times.

**Table 4.** Impact of EDS on mobility and travel times

	2021	2023	2024	2025
<b>Traffic flow rate during peak hours (km/h)</b>	36	37,37	38,60	39,68
<b>Average travel time (min)</b>	121	117	113	110
<b>Savings in travel time (min)</b>		4,45	8,18	11,27
<b>Economic value of time saved (TL)</b>		12.434.017.222	24.005.341.214	34.669.675.173

### 3.3. Impact of EDS Implementation on the Health System

Reductions in traffic accidents as a result of EDS applications help to reduce expenditures in the health system, reduce congestion and increase service quality. In 2021, according to TurkStat data, health expenditures amounted to 280 billion 220 million TL (TUIK, 2021c). Health expenditures, which increased by 16-22% on average over the years, increased by 41.48% with the effect of the pandemic. When it is assumed that these values will show a normal increasing trend with the decrease in the pandemic effect, it is predicted that total health expenditures on a national scale will be around 377 Billion TL by 2023. With the decrease in the number of accidents and injuries to be achieved with EDS

systems, an average annual saving of 0.03% will be achieved in health sector expenditures. Apart from economic savings, there will also be an increase in the quality of the service provided in the health system due to the decrease in density. Table 5, created with the data compiled within the scope of this study, shows the impact of the EDS implementation on the health system.

**Table 5.** Impact of EDS implementation on the health system

	2023	2024	2025
<b>Financial savings due to injury</b>	68.597.345	142.493.492	220.894.507
<b>Estimated General Health expenditure (TL)</b>	377.063.411.914	437.393.557.820	507.376.527.071
<b>Savings rate</b>	0,02%	0,03%	0,04%

### 3.4. Environmental Impact of EDS Implementation

Since vehicles can reach their target locations faster with EDS applications, the amount of fuel they will consume and exhaust emission emissions will decrease. With the consumption of 1 liter of gasoline, 2.35 g of CO<sub>2</sub> is emitted. Vehicles consume between 1-2 lt/h while idling. It is assumed that an average of 1 liter of additional fuel will be consumed during traffic-related waits. The estimated reduction in CO<sub>2</sub> emissions was calculated by multiplying the consumption of vehicles per minute by the time savings achieved. It is assumed that the number of working days per year will be 250 days. The impact of each extra minute that vehicles spend in traffic is taken into account and the positive environmental impact of EDS implementations is analyzed in Table 6.

**Table 6.** Environmental impact of EDS implementations

	2023	2024	2025
<b>Amount of CO<sub>2</sub> emission in 1 min (gr)</b>	<b>0,039</b>	<b>0,039</b>	<b>0,039</b>
<b>CO<sub>2</sub> emission savings (tons)</b>	<b>572,7</b>	<b>1.105,7</b>	<b>1.597,0</b>

### 3.5. The Effect of EDS Application on Quality of Life

Apart from the measurable economic gains that can be obtained as a result of EDS applications, there are also impacts that have a positive impact on the quality of life of individuals but are difficult to measure metrically. When the effects of the measurable impacts mentioned in the above headings on quality of life are analyzed, the following findings were made.

- Reduced negative psychological impact on individuals and families due to reduced death and injury rates,
- Reduced economic hardship for individuals and families due to loss of labor force,
- Reduced stress levels and increased happiness index due to less time in traffic,
- Spending more time with family and strengthening communication ties,
- Reduced personal expenditure due to lower fuel consumption,
- Preventing possible respiratory-related health problems with improved air quality.

## 4. Results and Discussion

Artificial intelligence supported EDS and Fault Detection systems are among the applications that have been widely used in Turkey in recent years. For this reason, this report examines the potential gains that can be achieved as a result of the widespread use of EDS systems on a national scale. Analyses based on the collected data show that EDS applications have positive impacts on economic, mobility, health, environmental and quality of life.

In the analyses conducted within the scope of this report, calculations were made on the assumption that they are used on a national scale. Currently, there is a need for a publicly controlled platform that can collect data such as the number of road sections on which EDS systems are in place, the time periods between which these systems are used, the number of vehicles using these road sections, average fuel consumption rates varying depending on vehicle types, the number of accidents before and after the system on these road sections, the types of accidents, the number of deaths and injuries, etc. in a certain standard and order. In this way, when a new EDS system is installed, the socio-economic analyses that this system will generate will be systematic. The net gains obtained based on clear data will also serve as a role model for other regions that want to implement this system.

### **Declaration of Contribution Rate of Researchers**

The contribution of the authors to the present study is equal. All the authors read and approved the final manuscript. All the authors verify that the Text, Figures, and Tables are original and that they have not been published before.

### **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 authors declared that for this research article, they have no actual, potential or perceived conflict of interest.

### **References**

- Akgüngör A.P., Doğan, E.** (2010). An artificial intelligent approach to traffic accident estimation: Model development and application. *Transport*, 24(2). doi.org/10.3846/1648-4142.2009.24.135-142
- Amiri, A.M., Naderi, K., Cooper, J.F., Nadimi, N.** (2021). Evaluating the impact of socio-economic contributing factors of cities in California on their traffic safety condition. *Journal of Transport & Health*, 101010(20). doi.org/10.1016/j.jth.2021.101010
- Biagioni, D., John, F., Venu, G., Peter, G., Nalinrat, G., Yi, H., Wesley, J., Joe, S., Devon, S., Austin, T., Juliette, U., Quichao, W., Stan, Y.** (2021). *Advanced Computing, Data Science, and Artificial Intelligence Research Opportunities for Energy-Focused Transportation Science*. Golden: ORNEL, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/ TP-2C00-79589. doi.org/10.2172/1812196
- Contini, L., El-Basyouny, K.** (2016, Eylül). Lesson learned from the application of intersection safety devices in Edmonton. *Accident Analysis & Prevention*, 94, 127-134. doi:10.1016/j.aap.2016.05.023
- Council, F.M., Persaud, B.N., Eccles, K.A., Lyon, C. and Griffith, M.S.** (2005). *Safety Evaluation of Red-Light Cameras*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Cunneen, M.** (2023). Autonomous Vehicles, Artificial Intelligence, Risk and Colliding Narratives. In: Fossa, F., Cheli, F. (eds) *Connected and Automated Vehicles: Integrating Engineering and Ethics*. studies in Applied Philosophy, Epistemology and Rational Ethics, vol 67. Springer, Cham. (s. 175–195). içinde doi.org/10.1007/978-3-031-39991-6\_10
- Cunneen, M., Mullins, M., & Murphy, F.** (2019). Autonomous Vehicles and Embedded Artificial Intelligence: The Challenges of Framing Machine Driving Decision. *APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE*, 33(8), s. 706-731. doi.org/10.1080/08839514.2019.1600301
- Das, C. P., Swain, B. K., Goswami, S., & Das, M.** (2021). Prediction of traffic noise induced annoyance: A two-staged SEM-Artificial Neural Network approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 100, 103055. doi.org/10.1016/j.trd.2021.103055

**Decina, L. E., Thomas, L., Srinivasan, R., Staplin, L. K., & TransAnalytics, L. L. C.** (2007). Automated Enforcement: A Compendium of Worldwide Evaluations of Results. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.

**Dodia, A., Kumar, S., Rani, R., Pippal, S. K., & Meduri, P.** (2023). EVATL: A novel framework for emergency vehicle communication with adaptive traffic lights for smart cities. IET Smart Cities. doi.org/10.1049/smc2.12068

**Gu, Y., Wang, Y., & Dong, S.** (2020). Public traffic congestion estimation using an artificial neural network. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(3), 152. doi.org/10.3390/ijgi9030152

**Herath, H. M. K. M. B., & Mittal, M.** (2022). Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review. International Journal of Information Management Data Insights, 2(1), 100076. doi.org/10.1016/j.jjime.2022.100076

**İBB.** (2023). Kurumsal Gelişim ve Yönetim Sistemleri Daire Başkanlığı Strajji Geliştirme Müdürlüğü. (tarih yok). Faaliyet Raporu. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB).

**KGM.** (2023). <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletIIYolEnvanter/IlereGoreDevletVeIIYollari>.

**Kushwaha, M., & Abirami, M. S.** (2023). Intelligent model for avoiding road accidents using artificial neural network. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL, 18(5). doi.org/10.15837/ijccc.2023.5.5317

**Makhani, M., & Bodkhe, N.** (2022). Road traffic accidents and their aftermath: The victims perspective. International Journal of Medical Toxicology & Legal Medicine, 25(3and4), 67-74. doi.org/10.5958/0974-4614.2022.00052.3

**Moncayo, L., Naranjo, J. L., García, I. P., & Mosquera, R.** (2017). Neural based contingent valuation of road traffic noise. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 50, 26-39. doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.020

**Mondal, M. A., & Rehana, Z.** (2019, May). An IoT-based congestion control framework for intelligent traffic management system. In International Conference on Artificial Intelligence and Data Engineering (pp. 1287-1297). Singapore: Springer Nature Singapore. doi.org/10.1007/978-981-15-3514-7\_96

**Olayode, I. O., Du, B., Tartibu, L. K., & Alex, F. J.** (2023). Traffic flow modelling of long and short trucks using a hybrid artificial neural network optimized by particle swarm optimization. International Journal of Transportation Science and Technology. doi.org/10.1016/j.ijtst.2023.04.004

**Poole, B.** (2012). An Overview of Automated Enforcement Systems and Their Potential for Improving Pedestrian and Bicyclist Safety.

**TÜİK.** (2021a). Vehicle Accident Statistics. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2022-49436#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%202022%20y%C4%B1%C4%B1%20sonu,ya%C5%9F%2014%2C8%20olarak%20hesapland%C4%B1>.

**TÜİK.** (2021b). Road Traffic Accident Statistics. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Traffic-Accident-Statistics-2021-45658>

**TÜİK.** (2021c). Health expenditure statistics. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Saglik-Harcamalari-Istatistikleri-2021-45728>

**TÜİK.** (2022). Motor Vehicles, December 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2022-49436#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%202022%20y%C4%B1%C4%B1%20sonu,ya%C5%9F%2014%2C8%20olarak%20hesapland%C4%B1>.

**TÜSSİDE.** (2021). EDS and Fault Detection Analysis System Application.

**Ulu, M., Kilic, E., & Türkan, Y. S.** (2024). Prediction of Traffic Incident Locations with a Geohash-Based Model Using Machine Learning Algorithms. *Applied Sciences*, 14(2), 725. <https://doi.org/10.3390/app14020725>

**Ulu, M., Türkan, 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. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1084833>

## Research Article

### **Havacılık yönetimi: WoS verilerine dayalı bibliyometrik analizi (1993-2023)**

Deniz YILDIZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Ünye Meslek Yüksekokulu, Ordu, Türkiye

\*Correspondence: [denizyildiz1990@gmail.com](mailto:denizyildiz1990@gmail.com)

DOI: 10.51513/jitsa.1485668

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, havacılık yönetimi kavramı hakkında 1993-2023 yılları arasında Web of Sciens (Wos) veri tabanında yer alan 137 yayının bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesidir. Bu bağlamda WoS veri tabanında havacılık yönetimi (aviation management) kavramı ile ilgili verileri alınarak R-Studio programı aracılığıyla yayınlara ait bibliyometrik verilerine ulaşılmıştır. Elde edilen verilerin ve bulguların sonucunda bu kavram ile ilgili ilk bilimsel çalışmanın 1993 yılında yayımlandığı gözlenmektedir. Bulgularda kavramla ilgili yayınların 1994 ve 1996 yılları arasında, 2000 yılı, 2002 ve 2005 yılları arasında ve 2008 yılında kavram ile ilgili yayın bulunmamaktadır. 2009 yılı itibariyle kavrama olan ilgi artmıştır. 1993 ila 2023 yılları arasındaki yayın sayılarına bakıldığında kavram ile ilgili yıllık ortalama yayın artış oranı %7,18'dir. Yayın başına ortalama alıntı oranı ise %25,58'dir. 2009 yılında 10,4 yıllın atıf oranı ile en yüksek atıf gözlenmektedir. Kavramla ilgili çalışma yapan sayısı 403 yazardan oluşmaktadır. Kavram ile ilgili yapılan çalışmaların dünya üzerindeki ülkelerdeki dağılımına bakıldığında ilk üç ülke; Amerika Birleşik Devletleri 243, Çin 132 ve Türkiye ise 48 yayına sahiptir. Bunun sonucunda kavrama olan ilgi ile ülkemiz üçüncü sırada yer almaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Havacılık yönetimi, bibliyometrik analiz, WoS

### **Aviation management: Bibliometric analysis based on WoS data (1993-2023)**

**Abstract:** The aim of this study is to examine 137 publications about the concept of aviation management in the Web of Science (Wos) database between 1993 and 2023 using the bibliometric analysis method. In this context, data related to the concept of aviation management was taken from the WoS database and bibliometric data of the publications were accessed through the R-Studio program. As a result of the data and findings obtained, it is observed that the first scientific study on this concept was published in 1993. In the findings, there were no publications regarding the concept between 1994 and 1996, 2000, between 2002 and 2005 and in 2008. As of 2009, interest in the concept has increased. Looking at the number of publications between 1993 and 2023, the average annual publication increase rate regarding the concept is 7.18%. The average citation rate per publication is 25.58%. Especially in 2009, the highest citation rate was observed with a citation rate of 10.4 years. The number of authors working on the concept consists of 403 authors. When we look at the distribution of studies on the concept in countries around the world, the first three countries are; There are 243 publications in the United States, 132 in China and 48 in Türkiye. As a result, our country ranks third in terms of interest in the concept.

**Keywords:** Aviation management, bibliometric analysis, WoS

\* Corresponding author.

E-mail address: [denizyildiz1990@gmail.com](mailto:denizyildiz1990@gmail.com), [denizyildiz@odu.edu.tr](mailto:denizyildiz@odu.edu.tr)

ORCID: 0000 0003 3090 8872

Received 17.05.2024; Received in revised form 17.06.2024; Accepted 28.06.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Giriş

Havacılık yönetimi sektörü günümüzde oldukça dikkat çekmektedir. Sektörün bu cazibesi eğitimcileri de harekete geçirerek bu sektöre istihdam edilmek amacıyla üniversitelerde bölümler açılarak eğitimlere başlanmıştır. Havacılık yönetimi sektörü olarak ulusal ve uluslararası olarak hava aracının yapımının yanı sıra hava yolu taşımacılığında yük ve yolcu taşımacılığını kapsamaktadır. Havacılık sektöründeki ilk değişim ikinci dünya savaşı sonrasında yaşamış, günümüzde de teknolojinin gelişmesi ve etkileriyle önemli bir taşımacılık modu haline gelmiştir (Kiracı, Bayrak, & Kurt, 2013, s. 505).

Havacılık yönetimini diğer sektör yönetimlerinden ayıran özellikler, bu sektörün daha fazla kuralları olmasıdır. Havacılık sektöründe kullanılan araçlar, sektöre çalışan istihdam ederken ki kurallar, taşımacılıktaki hem yük hem yolcular için kati kurallar gibi birçok kuralı içeren sektördür. Diğer bir ifadeyle havacılık yönetimindeki kurallar, yönetmelikler, talimatlar yazılı olarak belirlenmiştir (Göv, 2018, s. 393).

Literatürde bu konu ile ilgili bazı çalışmalar şöyledir. Kiracı (2013) ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada havacılık yönetimi sektöründe yer alacak gençlere eğitim veren akademisyenlerin özgeçmişlerinin incelenirken; Yavaş (2021) ise yapmış olduğu çalışmada havacılık yönetimi sektörünün ihtiyaç duyduğu eleman sayısı ve niteliklerini belirlemek amacı ile çalışmasını gerçekleştirmiştir. Durmuş ve Tokyay (2021) havacılık yönetimi bölümünde okuyan öğrencilerin meslek tercihlerini incelemişlerdir. Durali ve Özdamar (2021) tarafından yapılan çalışmada öğrencilerin havacılık yönetimi bölümünde okumalarındaki memnuniyet araştırılmıştır. Bilkay'ın (2021) çalışmasında amaç, Türkiye'deki Meslek Yüksekokullarında bulunan sivil havacılık yönetimi ile ilgili bölümlerdeki akademik kadronun niteliksel ve niceliksel açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kalkın (2021) yapmış olduğu çalışmada Covid-19 pandemisinin havacılık sektörüne nasıl etkilediğini araştırmıştır. Doğan ve arkadaşları (2023) havacılık yönetimi sektöründeki rezervasyon sistemlerinin önemi vurgularken, bu bölümdeki öğrencilerin bu sisteme olan algılarını ölçmüşlerdir.

Almaz (2020) yapmış olduğu çalışmasında Türkiye'deki sivil havacılık yönetimi ile ilgili yüksek lisans ve doktora tezleri üzerine karşılaştırmalı bir derleme çalışma yapmıştır. Almaz'ın çalışmasının amacı, Yüksek Öğrenim Kurumunda yer alan lisansüstü tezlerin, yayımlandıkları yıl, dil, ana bilim dalı, konu gibi ölçütler bakımından sınıflandırılarak betimsel bir nitel araştırma yapmıştır. Bu çalışmayı Almaz'ın çalışmasından ayıran özellik ise çalışmaya konu olan verilerin WoS veri tabanı üzerinden çekilmesi ve yayın olarak kitap bölümü, makale gibi kısıtlama yapılmadan WoS veri tabanında yer alan "havacılık yönetimi" kavramı ile ilgili tüm yayınları analize dahil etmektir. Bu bağlamda çalışmaya konu olan veriler ve bulgulardan yöntem kısmında gösterilmektedir.

Sonuç olarak literatüre bakıldığında havacılık sektörüne olan ilginin henüz geliştiği ve kavrama olan ilginin farklı açılardan ele alındığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle havacılık sektörünün önemi küresel çapta hızla gelişmektedir. Bu sektöre olan ilgi de aynı oranda artmaktadır. Literatürde, sivil havacılık yönetimi, hava yolu taşımacılığı yönetimi gibi farklı isimlerle ifade edilmektedir. Bu bağlamda kavram ile ilgili çalışmalar hakkında bibliometrik çalışma örneğine rastlanmamıştır. Dolayısıyla çalışmanın amacı, ana kavram olarak "havacılık yönetimi" kavramını ele alınarak kavramla ilgili yapılmış çalışmaların bibliyometrik analizini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu bağlamda Web of Sciences veri tabanında havacılık yönetimi kavramı taratılarak ulaşılan yayınlar veri setinizi oluşturmaktadır.

## 2. Yöntem

Bu çalışma 25.12.2023 tarihine kadar WoS (Web of Sciences) veri tabanında yayınlanmış olan "havacılık yönetimi" konulu bilimsel çalışmaların bibliyometrik profilini oluşturmak amacı ile gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultuda havacılık yönetimi kavramı ile ilgili ilk yayının 1993 yılında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İlk yayından itibaren 25.12.2023 tarihine kadar ise 137 bilimsel çalışmaya bulunmaktadır.

Bu çalışmanın veri seti WoS veri tabanında yer alan "havacılık yönetimi" kavramı ile ilgili bütün bilimsel çalışmalar yer almaktadır. Veri setinde yer alan bilimsel yayınlar anahtar kelimelerine, yayımlandıkları dergilere, başlık ve özet gibi kısıtlamalar ile özel olarak taranmış ve elde edilen veriler ise R-Studio programında "Biblioshiny for bibliometrix" uygulamasında analiz edilmiştir. Analiz sonucuna göre kavram ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların yıllara göre dağılımı, yazarlara ait bilimsel

çalışma oranları, yazar üretkenlikleri, bilimsel çalışmaların yer aldığı dergilerin sayısı, yazarlara ve bilimsel çalışmalara ait atıf oranları, bilimsel çalışmalarda kullanılan kelime frekansları sonucu elde edilen kelime bulutları, trend topik konular gibi analiz bulgularına ulaşılmıştır. R-Studio programının tercih edilmesinin nedeni bu tarz çalışmalarda elde edilen verilerin grafik ve tablolaştırılması konusunda avantaj sunmasıdır (Aria & Cuccurullo, 2017, s. 961).

### 3. Bulgular

Araştırmada 25.12.2023 tarihinde “havacılık kavramı” kavramı ile ilgili Web of Sciences (WoS) veri tabanından çekilen verilere göre 137 bilimsel yayına ulaşılmıştır. Bu doğrultuda ulaşılan bulgular aşağıdaki gibidir:

**Table 1.** 1993-2023 yıllarına ait temel bilgiler

Açıklama	Sonuçlar
Anahtar kelime	Havacılık Yönetimi
Zaman aralığı	1993:2023
Kaynaklar (dergiler, kitaplar vb.)	97
Bilimsel çalışma sayısı	137
Yıllık ortalama bilimsel çalışma sayısı	7,09
Yıllık bilimsel çalışma artış oranı %	7,18
Bilimsel çalışma başına ortalama alıntı sayısı	25,58
Referanslar	1

Tablo 1’de ki parametrelere göre havacılık yönetimi ile ilgili yapılan 137 bilimsel yayına ait temel bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda kavram ile ilgili ilk yayın 1993 yılında yapılmıştır. Daha sonra ise kavramla ilgili yıllık ortalama yayın sayısı 7,09’dur. Diğer bir ulaşılan bulgu ise bilimsel çalışma sayısındaki yıllık artış oranı %7,18 olup, yayın başına ortalama alıntı oranı ise %25,58’dir.

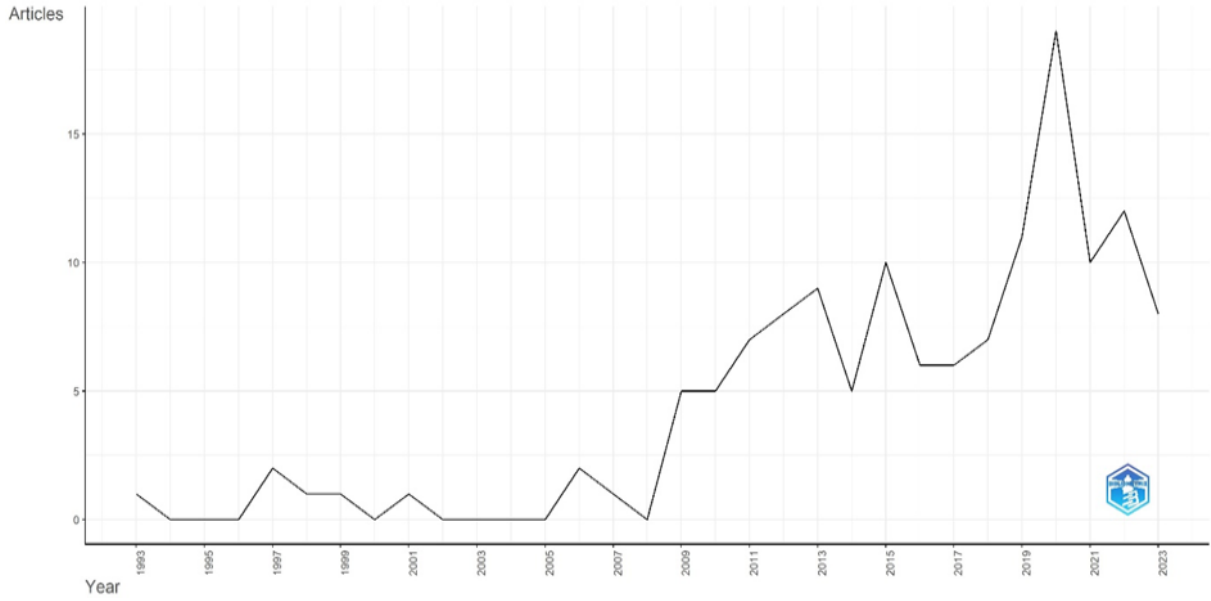
**Tablo 2.** 2008-2023 yıllarına ait yayınlara ve yazarlara ait bilgiler

Açıklama	Sonuçlar
<b>Yayın türü</b>	<b>137</b>
Makale	100
Kitap bölümü	1
Erken Erişime açık makale	2
Editör Materyal; Kitap Bölümü	2
Bildiri	27
Süreci Devam Edenler	1
Review	4
<b>Yazarlar</b>	
Toplam yazar sayısı	403
Tek yazarlı yayın yazarları	16
Çok yazarlı yayın yazarları	387
<b>Yayın İçeriklerine Göre Anahtar Kelimeler</b>	
Anahtar kelime (Keywords Plus (ID))	252
Yazar anahtar Kelime (Author's Keywords (DE))	351

Tablo 2’de havacılık yönetimi ile ilgili bilimsel yayınların dağılımı yer almaktadır. Bu veriler doğrultusunda 137 tane yayın bulunmaktadır. Bunların 100’ü makale, 1’i kitap bölümü diğer yayınları ise; erken erişime açık makale, kitap, kitap incelemesi vb. şekilde dağılım göstermektedir. Kavramla

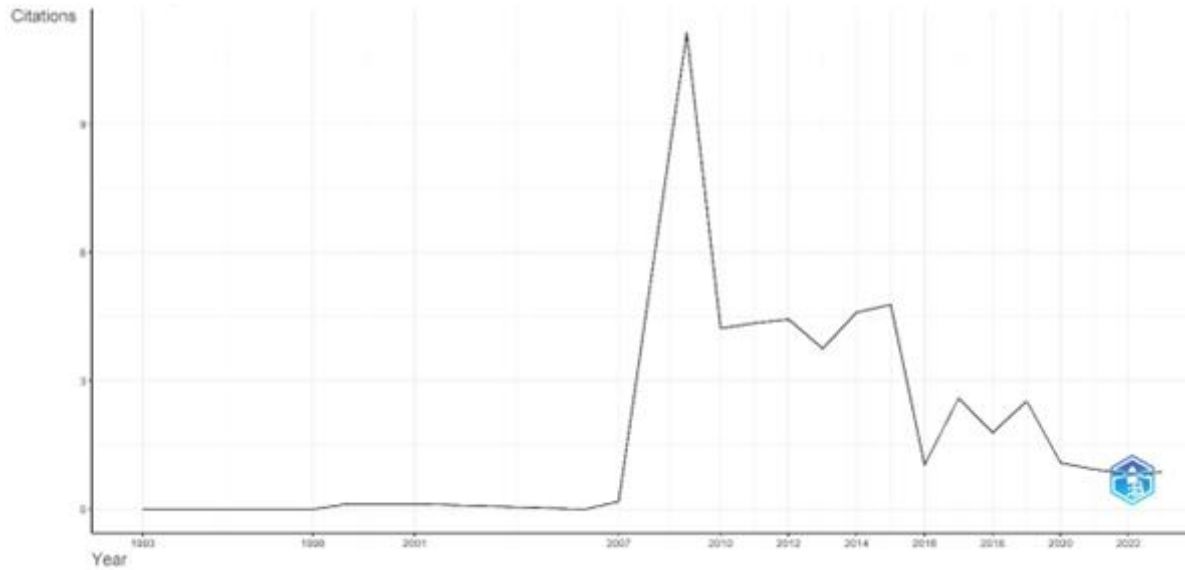


İlgili yayına sahip toplam 403 yazar bulunmaktadır. Bu yazarların yalnızca 16'sı tek isimli yayına sahiptir.



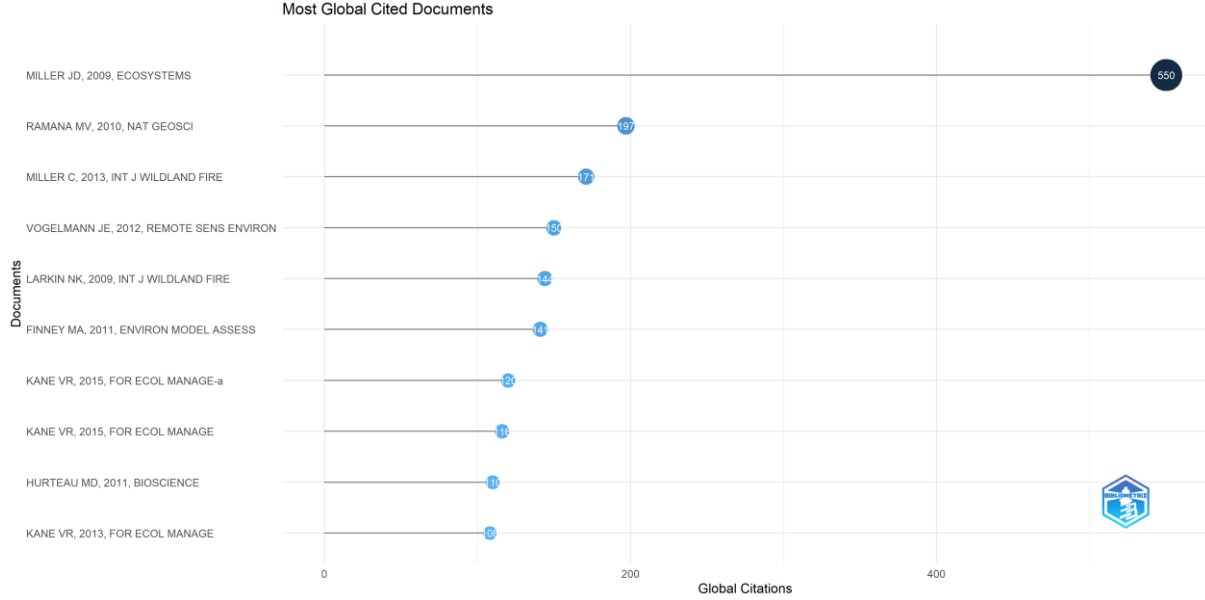
Şekil 1. Yıllara göre yayın sayısı

Şekil 1’de havacılık yönetimi kavramının yıllara göre yayın dağılımları yer almaktadır. Bu bağlamda kavramla ilgili ilk yayın 1993 yılında yapılmıştır. Ancak 1993 yılından sonraki 1994 ila 1996 yılları arasında, 2000 yılı, 2002 ila 2005 yılları arasında ve 2008 yılında kavram ile ilgili yayın bulunmamaktadır. Bu yıllardan yayın olmamasına rağmen kavrama olan ilgi 2009 yılı ve sonrasında artarak yayın sayısında artış gözlenmektedir. Kavramla ilgili en çok yayının yapıldığı yıl ise 19 yayının ile 2020 yılıdır.



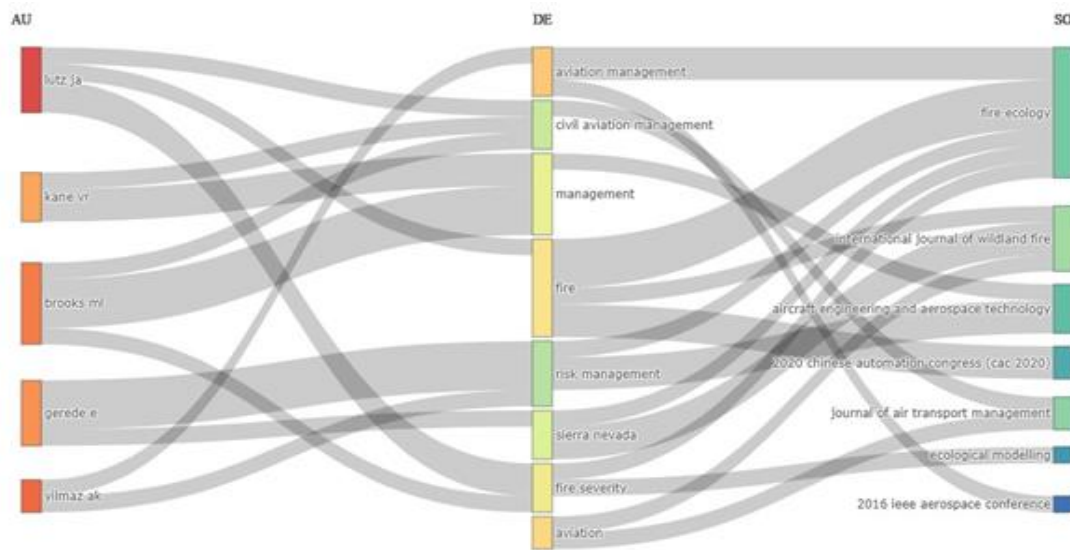
Şekil 2. Yıllara göre atıf dağılımı

Şekil 2’de ise havacılık yönetimi ile ilgili yapılan yayınların yıl başına düşen atıf oranları yer almaktadır. 1998 yılına kadar kavramla ilgili yapılan yayınlara herhangi bir atıf gözlenmezken, 1999 yılından sonra düzenli atıflar gözlenmektedir. Özellikle 2009 yılında 10,4 yılın atıf oranı ile en yüksek atıf gözlenmektedir.



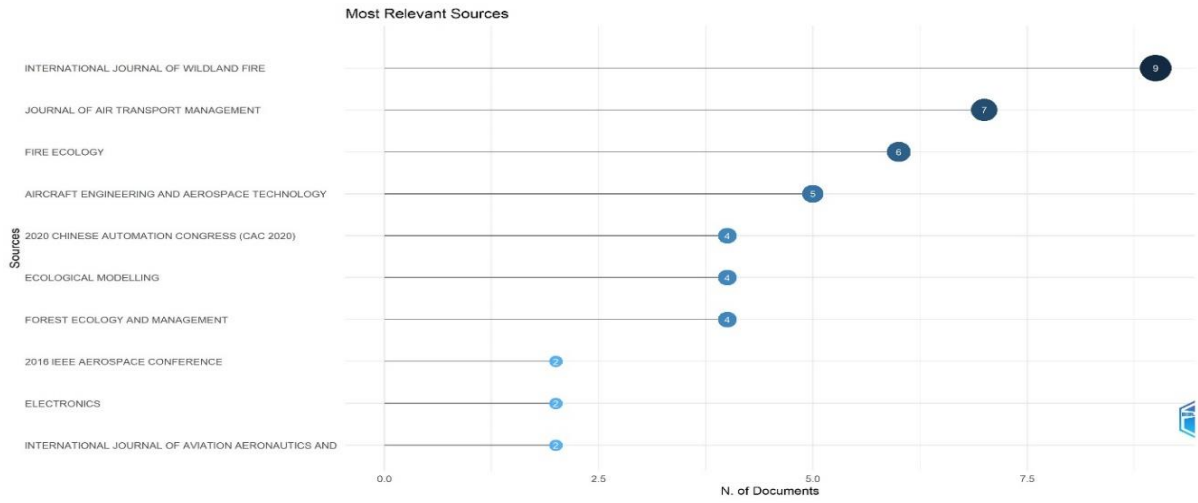
Şekil 3. En çok atıf alan yazar ve yayınlar

Miller ve arkadaşları (2009) yılında “Quantitative Evidence for Increasing Forest Fire Severity” isimli yayınlarında 550 atıf puanı ile en çok atıf alan yayın olmuştur. Bunu Ramana ve arkadaşları (2010) “Warming Influenced by the Ratio of Black Carbon to Sulphate and the Black- Carbon” yayını ve 197 total atıf puanı ile takip etmiştir. Yine Hurteau ve Brooks (2011) yılında “Short- and Long-term Effects of Fire on Carbon in US Dry Temperate Forest Systems” total atıf puanı 110, Kane ve arkadaşları da (2013) yılında “Landscape-scale effects of fire severity on mixed-conifer and red fir forest structure in Yosemite National Park” yayını total atıf puanı 108 ile en çok atıf alan yayınlar arasında yer almaktadır.



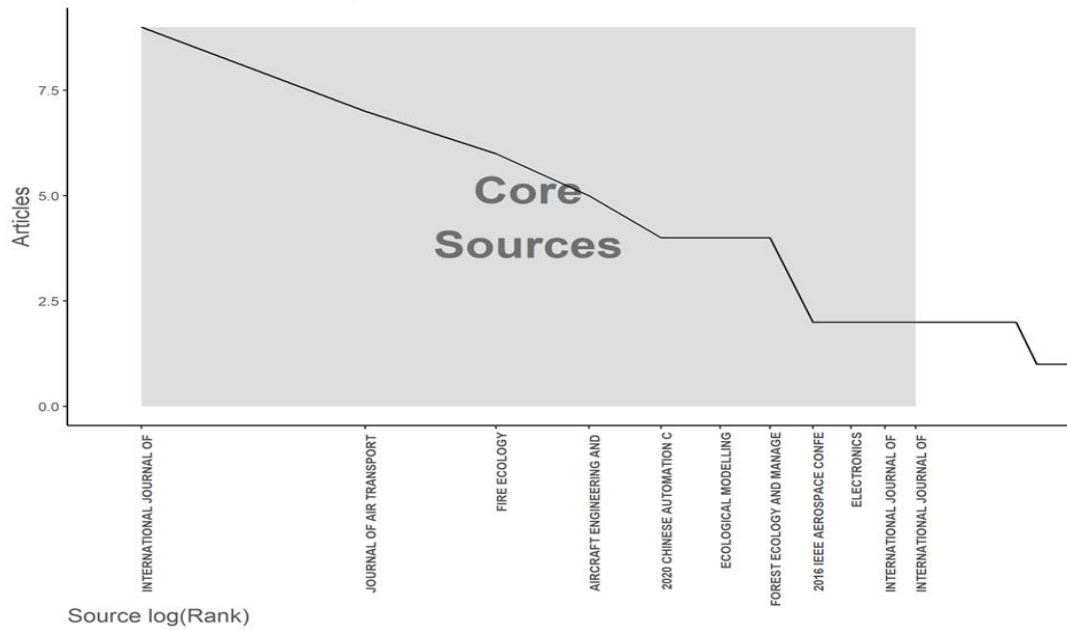
Şekil 4. Yazar, anahtar kelime ve dergi arasındaki ilişkinin üç alan grafiği ile (sankey diagramı) gösterimi

Şekil 4’te üç alan grafiğinin sol tarafında yazarlar, orta kısmında anahtar kelime ve sağ tarafında ise kavramla ilgili, yazarların yapmış oldukları yayınların bulunduğu dergiler yer almaktadır. Bu diyagram şekilde 3’te yer alana bu üç değişkenin aralarındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu doğrultuda kutuların büyüklüğü ve aradaki bağların kalınlığı değişkenlere aradaki ilişkinin kuvvetini göstermektedir. Bu bağlamda havacılık yönetimi ile ilgili yapılan 2 çalışmanın tümü Yılmaz Ak’a ait olup, bu yayınlar “Fire Ecology(1)” ve “2016 Ieee Aerospace Conference(1)” dergilerinde yer almaktadır. Sivil havacılık yönetimi anahtar kelimesi ile ilgili 3 yayın olup Lutz Ja., Kane Vr. ve Brooks Ml. yazarlarına aittir. Bu yazarlara ait yayınların ortak özellikleri ise üç yayınında aynı dergide “Journal of Air Transport Management” dergisinde yer almasıdır. Şekil 4’e göre en çok yayın yapılan dergilerin başında “Fire Ecology(8)” gelmektedir. Bunu “International Journal of Wildland Fire(4)” ve “Air Craft Engineering and Aerospace Technology(3)” dergileri takip etmektedir.



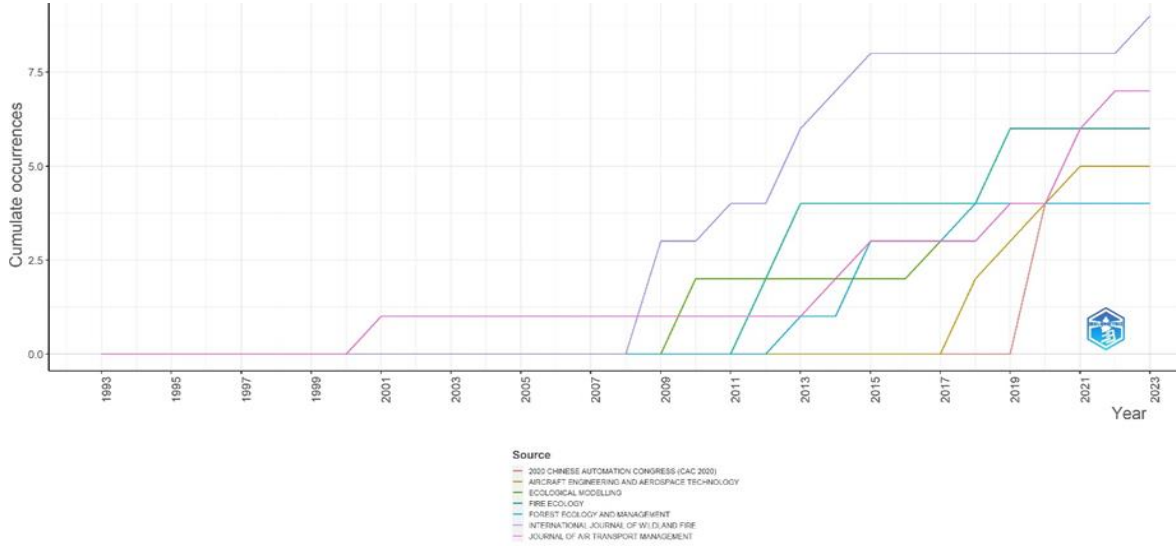
Şekil 5. En ilgili kaynaklar

Şekil 5’te havacılık yönetimi ile en ilgili yayın yapan kaynaklar yer almaktadır. Sırasıyla en ilgili yayın yapan dergiler “International Journal of Wildland Fire(9)”, “Journal of Air Transport Management(7)” ve “Fire Ecology(6)” dergileridir.



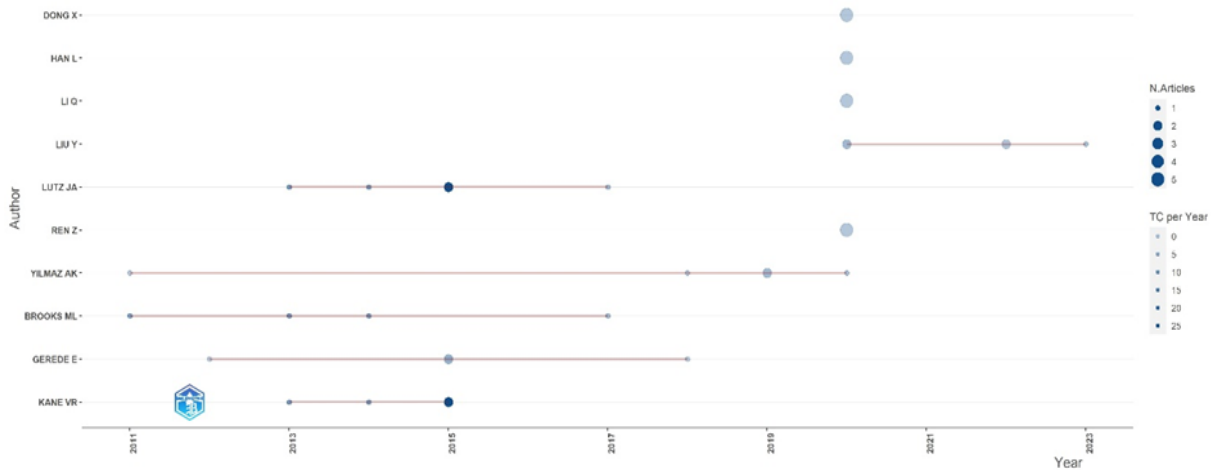
Şekil 6. Bradford Yasası'nın temel kaynakları

Şekil 6’da havacılık yönetimi ile ilgili çalışmalara en çok katkı sağlayan kaynaklar yer almaktadır. Buna göre en önemli katkıyı sağlayan üç dergi sırasıyla şöyledir: “International Journal of Wildland Fire”, “Journal of Air Transport Management” ve “Fire Ecology” dergileridir. Bu sonuçlar şekil 5’teki en ilgili kaynakları sonucunu da desteklemektedir.



Şekil 7. Toksik liderlikle ilgili kaynak dinamiği

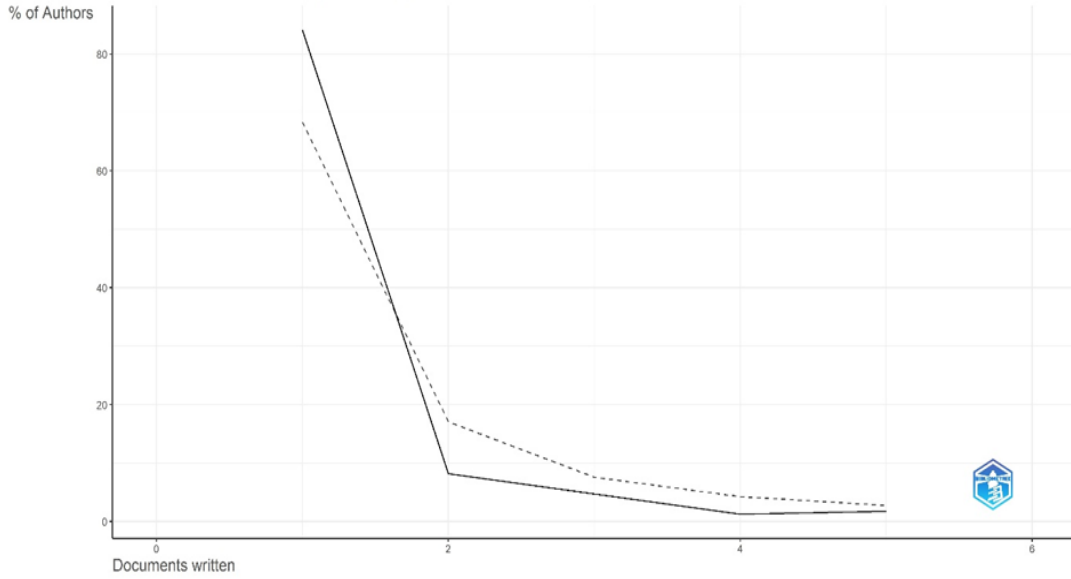
Şekil 7’de ise havacılık yönetimi kavramı ile ilgili yayınların bulunduğu kaynakların zaman içerisindeki katkıları yer verilmiştir. Havacılık yönetimi ile ilgili kavramı ile ilgili yayın yapan en ilgili kaynaklardan ilki “Journal of Air Transport Management” dergisinde 2001 yılında, International Journal of Wildland Fire” dergisinde 2009 yılında ve “Fire Ecology” dergisinde ise 2012 yıllarında yayınlara başlamıştır.



Şekil 8. Yazarların yıllara göre yayın dağılımı

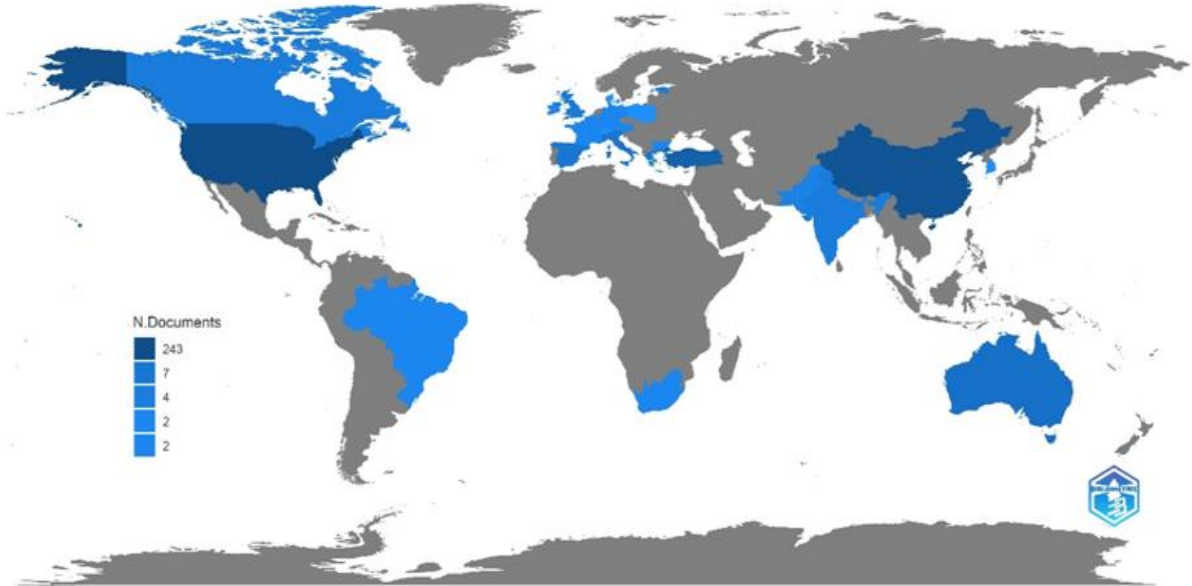
Şekil 8’de yazarların yıllara göre yayın dağılımları yer almaktadır. Dong X, Han L, Li Q ve Ren Z yazarlarının 2020 yılında 5’şer adet yayını mevcuttur. Liu Y 2020 yılında 2 adet, 2022 yılında 2 ve 2023 yılında 1 adet yayını bulunmaktadır. Lutz Ja ilk yayını 2013 ve 2014 yıllarında 1’er adet, 2015 yılında 2 adet ve 2017 yılında ise 1 adet yayını bulunmaktadır. Yılmaz Ak ilk yayını 2011 yılında sonraki yayını 2018 yılında, 2019 yılında ise 2, 2020 yılında 1 yayını bulunmaktadır. Brooks MI 2011,

2013,2014 ve 2017 yıllarında birer yayını bulunmaktadır. Kane Vr ise 2013 ve 2014 yılında birer, 2015 yılında ise 2 adet yayını bulunmaktadır.



**Şekil 9.** Lotka yasası ile yazar üretkenliği

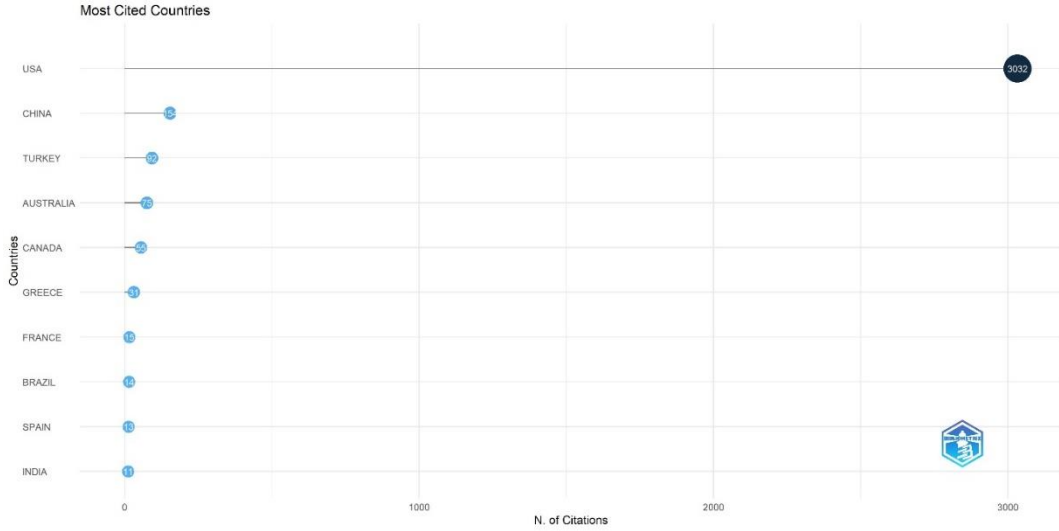
Şekil 9 Lotka Yasasına göre yazarların bilimsel üretkenliklerini göstermektedir. Dolayısıyla havacılık yönetimi kavramı ile ilgili yayın yapan yazarların %84,1'i bir yayın yaptığı, iki yayın yapan yazarlar %8,2 oranında, üç yayın yapan yazar oranı %4,7 oranında, dört yayın yapan yazar oranı %1,2 ve beş yayın yapan yazarların oranı ise %1,7 oranındadır.



**Şekil 10.** Ünelere göre bilimsel üretkenlik dağılımı

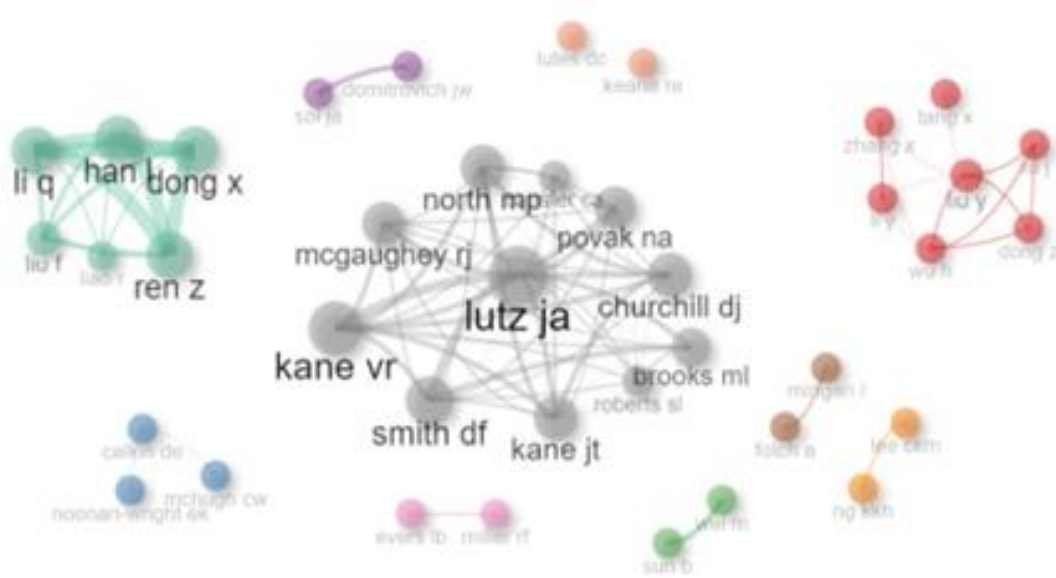
Şekil 10'da kavram ile ilgili yapılan yayınların ülkelere göre dağılımı yer almaktadır. Haritada yer alan renkler mavi tonları ve gri şeklinde yer almaktadır. Renk dağılımı makale sayısını temsil etmektedir.

Özellikle gri renk o ülkelerde kavram ile ilgili yayının bulunmadığını göstermektedir. Mavi renk ise koyudan açığa doğru gitmektedir. Koyu mavi renge sahip olan en çok yayının yapıldığı yapan ilk üç ülke Amerika Birleşik Devletleri 243 yayın, Çin 132 yayın ve Türkiye 48 yayındır. Açık mavi rengi ile yer alan Avusturalya 12 ve İtalya 9 yayın ile takip etmektedir. Yunanistan ve İspanya 7, Birleşik Krallık 6, Kanada ve Hindistan 5, Brezilya, Almanya ve Fransa 2'ser yayına sahiptir.



Şekil 11. Ükelere göre atıf dağılımı

Şekil 11'de de gözüktüğü gibi en çok atıf alan ülke 3032 atıf ile Amerika Birleşik Devletleri olmuştur. Bunu 154 atıf ile Çin ve 92 atıf ile Türkiye takip etmektedir. Dolayısıyla Türkiye'nin havacılık yönetimi kavramı ile ilgili yapılan yayınlarına atıflarda dünyada üçüncü sırada yer aldığı gözlenmektedir. Şekil 10'da kavramla ilgili bilimsel üretkenlik dağılımına doğru oranda atıfların olduğu gözlenmektedir. Buda literatürde yeni gelişim gösteren kavrama olan ilginin ülkemizde oldukça fazla olduğunu göstermektedir.



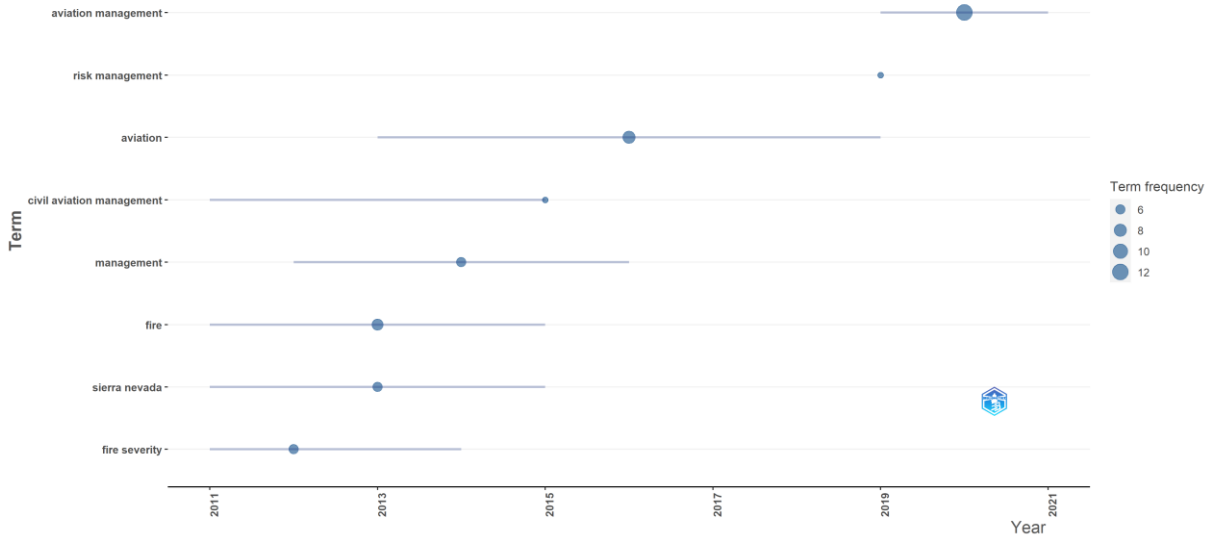
Şekil 12. Ortak yazarlık ağı

Şekil 12’de yazarların kavram ile ilgili yapmış oldukları yayınların iş birliklerini göstermektedir. Yazarlar arasındaki bağların kalınlığı yazarın yapmış olduğu iş birliklerinin yoğunluğunu göstermektedir. Yukarıda bulunan kümelenmelerde birlikte yayın yapan yazarları göstermektedir. Bu bağlamda en çok yazara ve iş birliğine sahip grup gri renkteki Lutz Ja yazar ve kümesine ait olan oluşumdur. Yeşil ve kırmızı kümelenmedeki yazarlarında iş birliği ile yaptıkları yayın yoğunluğu dikkate değer orandadır.



Resim 1. En sık kullanıma göre kelime bulutu

Resim 1’de yazarların anahtar kelimelerine göre oluşan kelime bulutu yer almaktadır. Havacılık yönetimi kavramı 12 frekans ağırlığı ilk sıradadır. Bunu havacılık 8 ve havacılıkta ateşleme 7 frekans ile takip etmektedir.



Şekil 13. Trend topic

Şekil 13’te havacılık yönetimi ile ilgili trend olan anahtar kelimeler yer almaktadır. Havacılık yönetimi 2020 yılında 12 frekans, risk yönetimi 2019 yılında 5 frekans, havacılık 2016 yılında 8 frekans, sivil havacılık yönetimi 2015 yılında 5 frekans ağırlığı bulunmaktadır. Havacılık kavramı 2013 ve 2019 yıllarında trend olan bir kavram iken, 2019 yılı sonrası kavram havacılık yönetimi olarak yer almaktadır.

#### 4. Sonuç

Literatürde farklı açılardan ele alınan havacılık yönetimi kavramı yeni gelişim gösteren bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde kavramla ilgili olan çalışmaların farklı açılardan incelenmesi diğer çalışmalara da ışık tutmaktadır. Kavram yeni gelişmiş olsa da literatürde bilimsel olarak ilk defa 1993 yılında yer almaktadır. Bilimsel olarak 1993 yılında anılmasına rağmen devam eden diğer üç yıl boyunca kavram ile ilgili hiçbir yayın yapılmamıştır. Hatta 2000 ile 2003 yılları arası ve 2008 yılında da kavramla ilgili yayın bulunmamaktadır. 2009 yılı sonrası ise kavrama olan ilgi oldukça artmıştır. Genel olarak 1993 ile 2023 yılları arasındaki yayın sayılarına bakıldığında kavram ile ilgili yıllık ortalama yayın artış oranı %7,18'dir. Yayın başına ortalama alıntı oranı ise %25,58'dir. En yüksek atıf 10,4 oranı ile 2009 yılında, en fazla yayın ise 19 bilimsel çalışma ile 2020 yılıdır. Kavramla ilgili çalışma yapan sayısı 403 yazar olup bunların 16'sının yalnızca kendisine ait yayını bulunmaktadır.

Havacılık yönetimi kavramı ile yapılan bilimsel yayınların dünya üzerindeki ülkelerdeki dağılımına göre Amerika Birleşik Devletleri 243, Çin 132 ve Türkiye ise 48 yayına sahiptir. Buda ülkemizin en çok yayına sahip üçüncü ülke olarak kavrama olan ilgisini göstermektedir. Bu sonuca paralel olarak, ülkelerin atıf oranı dağılımında da en çok atıf alan ülke 3032 atıf ile Amerika Birleşik Devletleri olmuştur. Bunu 154 atıf ile Çin ve 92 atıf ile Türkiye takip etmektedir.

Sonuç olarak havacılık yönetimi kavramına olan ilginin Türkiye de göz ardı edilemeyeceği ve kavrama olan ilginin ülkemizde oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Bu çalışmadan WoS veri tabanında yer alan bilimsel çalışmalar veri setini oluşturmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda bu veri setindeki çalışmaların bilimsel alanlarına veya sektörlerine göre kısıtlanarak analiz edilebilir. Yine ek olarak farklı veri tabanlarındaki kavram ile ilgili yayınlarda çalışmaya dahil edilebilir.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar tek başına hazırlamış ve düzenlemiş olup sorumlu yazar kendisidir.

#### Destek ve teşekkür beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır. Teşekkür edilecek kişi ya da kurum bulunmamaktadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynakça

**Almaz, F.** (2020). Türkiye'de sivil havacılık yönetimi araştırmalarındaki eğilimler: 1998-2019 yılları arasındaki yapılmış doktora ve yüksek lisans tezleri üzerine karşılaştırmalı bir derleme. *Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(1), 17-32.

**Aria, M., & Cuccurullo, C.** (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.

**Bilkay, S.** (2021). Havacılıkta nitelikli insan kaynağı yetiştirme sorununun üniversitelerdeki sivil hava ulaştırma işletmeciliği ve havacılık yönetimi bölümlerinde görev alan akademik kadroların niteliğinin bağlamında değerlendirilmesi. *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(1), 1-18.

**Doğan, M. A., Şimşek, Z., & Ayvalıoğlu, A.** (2023). Havacılık yönetimi öğrencilerinin rezervasyon sistemine ilişkin algıları: metafor analizi örneği. *International Anatolian Journal of Social Sciences*, 7(1), 29-40.

**Durali, M., & Özdamar, N.** (2021). Havacılık yönetimi lisans programı öğrenenlerinin genel profil analizi ile açıköğretim sistemine ilişkin memnuniyetlerinin ve bağlılıklarının incelenmesi. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 64-86.

**Durmuş, S., & Tokyay, E. O.** (2021). Havacılık yönetimi lisans öğrencilerinin meslek tercih eğilimlerinin incelenmesi. *Journal of Aviation Research*, 3(2), 2687-3338.

**Göv, S. A.** (2018). Havacılık sektöründe kalite sistemi. *KSÜSBD*, 15(2), 391-406.



**Hurteau, M. D., & Brooks, M. L.** (2011). Short- and long-term effects of fire on carbon in US dry temperate forest systems. *BioScience*.

**Kalkın, G.** (2021). COVID-19 ve Havacılık sektörünün geleceği: Havacılık yönetimi kapsamında bir değerlendirme. *Journal of Aviation*, 5(1), 53-63.

**Kane, V. R., Lutz, J. A., Roberts, S. L., Smith, D. F., McGaughey, R. J., Povak, N. A., & Brooks, M. L.** (2013). Landscape-scale effects of fire severity on mixed-conifer and red fir forest structure in Yosemite National Park. *Forest Ecology and Management*, 17.

**Kiracı, K., Bayrak, Ü., & Kurt, Y.** (2013). Türkiye'deki sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Bölümü Öğretim Elemanı Ve Yardımcılarının Akademik Özgeçmişlerinin Nicel Görünümü. *UHAT-2013 II. Ulusal Havacılık Teknolojisi ve Uygulamaları Kongresi*, Gaziantep.

**Miller, J., Safford, H., Crimmins, M., & Thode, A.** (2009). Quantitative Evidence For Increasing Forest Fire Severity. *Ecosystems*, 12, 16-32.

**Ramana, M., Ramanathan, V., Y.Feng, Yoon, S.-C., Carmichael, G., & Schauer, J.** (2010). Warming Influenced By The Ration Of Black Carbon To Sulphate And The Black- Carbon. *Natura Geoscience*, 3, 542-545.

**Yavaş, V.** (2021). Havacılık Yönetimi Öğrencilerine Yönelik İş İlanlarının Analizi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(Armağan Sayısı), 121-136.

## Araştırma Makalesi

### Akıllı ulaşım sistemleri için LoRa tabanlı telemetri veri aktarım sistemi tasarımı

İnci Umakoğlu<sup>1\*</sup>, Derya Keskin<sup>1</sup>, Caner Pense<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

<sup>2</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

\*Correspondence: [inci.umakoglu@dpu.edu.tr](mailto:inci.umakoglu@dpu.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1541448

**Özet:** Uzun menzil (LoRa) teknolojisi, düşük güç tüketimiyle uzun mesafelere veri iletmeye yeteneği sunarak nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarına önemli katkılar sağlamaktadır. Düşük güçlü geniş alan ağı (LPWAN) tabanlı protokoller, IoT cihazları arasında küçük veri paketlerinin uzun mesafelerde iletimini mümkün kılmaktadır. LoRa, coğrafi engeller, doğal afetler veya insan kaynaklı kesintiler gibi olağanüstü durumlarda, kısa menzilli radyo iletişim sistemlerinin yetersiz kaldığı bölgelerde kritik bir iletişim aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (AUS) kesintisiz işleyişini desteklemek amacıyla, düşük güç tüketimiyle uzun mesafeli veri iletimi sağlayan LoRa teknolojisinin uygulanabilirliği incelenmiştir. 3 km menzile kadar sağlanan iletişimle, model uydudaki aviyonik sistem sensörlerinden elde edilen veriler, LoRa modülleri aracılığıyla yer istasyonuna başarılı bir şekilde iletilmiştir. Buna ek olarak, model uyduda yer alan kamera sistemi üzerinden gerçek zamanlı görüntü aktarımı yapılmıştır. Sonuçlar, 700-600 metre aralığında irtifa ve 3 km menzile kadar yapılan saha testleriyle, LoRa teknolojisine düşük maliyetli uydularla kesintisiz veri iletimi ve sistem sürekliliği için uygun bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaşım sistemleri, LoRa, haberleşme, uydusu sistemi

### The design of a LoRa-based telemetry data transmission system for intelligent transportation systems

**Abstract:** LoRa technology provides significant contributions to IoT applications by enabling long-distance data transmission with low power consumption. LPWAN protocols make it possible to transmit small data packets over long distances between IoT devices. LoRa emerges as a critical communication tool in regions where short-range radio communication systems fall short, especially in extraordinary circumstances such as geographical obstacles, natural disasters, or human-induced disruptions. This study examines the applicability of LoRa technology, which enables long-distance data transmission with low power consumption, to support the uninterrupted operation of Intelligent Transportation Systems (ITS). Communication was successfully established over a range of up to 3 km, with data from the avionics system sensors on a model satellite successfully transmitted to the ground station via LoRa modules. Additionally, real-time image transmission was carried out through the camera system on the model satellite. The results, confirmed by field tests conducted at an altitude of 700-600 meters and a range of up to 3 km, show that LoRa technology is a viable solution for uninterrupted data transmission and system continuity with low-cost satellites.

**Keywords:** Intelligent transportation systems, LoRa, communication, satellite system

\* Corresponding author.

E-mail address: [inci.umakoglu@dpu.edu.tr](mailto:inci.umakoglu@dpu.edu.tr)

ORCID: 0000-0003-2187-2193, 0000-0002-2786-5421, 0009-0007-2790-720X, (in hierarchical order)

Received 01.09.2024; Received in revised form 27.09.2024; Accepted 03.10.2024

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Giriş

Günümüz insanı uzayla iç içedir ve yaşamını alıştığı düzey ve kalitede sürdürebilmesi için uzaya bağımlı hale gelmiştir (Topcu, 2017). Uzaktan algılama verileri işlenerek yeryüzü ile ilgili çok daha çabuk, düşük maliyetli ve sağlıklı veriler elde edilmektedir. Bu çalışmalar ayrıca ulaşılması zor ve çok büyük alanlar üzerinde çalışmalar yapabilmeye imkân vermektedir.

Uydular, Dünya çevresindeki yörüngelerinde hareket ederlerken, sensörler (radyometre) tarafından kaydedilen verileri belirli aralıklarla yer istasyonlarına gönderirler. Gelişen uydu sistemleri verileri yüksek çözünürlükte ve çok daha kısa sürelerde elde etmeye imkân sağlaması açısından birçok bilim insanı tarafından tercih sebebi olmaktadır (Aksoy vd., 2017). Uyduların en önemli faydalarından biri, yer gözlem istasyonları kurulamadığı için verilerin toplanamadığı okyanus, çöl, dağlık alanlar, kutup bölgeleri vs. gibi çok geniş alanlardan meteorolojik bilgilerin elde edilmesidir. Uydu haberleşme sistemi çift yer istasyonu ve en az bir uydudan oluşmaktadır. Uyduya mikrodalga sinyalleri gönderen bir verici yer istasyonu bulunmakla birlikte, bu sinyalleri uydudan alan bir de alıcı yer istasyonu bulunmaktadır. Burada önemli olan sinyallerin uygun frekans ve güce göre alınmasıdır. Uydular sayesinde telemetri verilerinin iletimi sağlanabilmektedir.

Telemetri bir sistem ya da tesisin, uzaktan kablo veya kablosuz olarak izlenmesi veya kontrol edilmesidir. Haberleşme teknolojilerinde son yıllarda büyük ilerlemeler kaydedilmesi sayesinde günümüz telemetri uygulamalarında çoğunlukla kablosuz haberleşme tercih edilmektedir (Başarslan vd., 2016). Radyo frekansı (RF), gelişen teknoloji ile günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok uzun mesafedeki şehirler ve ülkeler arasındaki ölçme ve kontrol için mobil iletişim için küresel sistem (GSM) ve uydu sistemleri kullanılır. Şehir içi mesafeler için, mobil telsiz, cep telefonu veya RF iletişim modülleri ölçme ve kontrol için kullanılmaktadır (Özden ve Dursun, 2010). Bununla birlikte, düşük güç tüketimi ve uzun mesafe veri iletimi sağlayan LoRa teknolojisi, özellikle geniş alanlarda küçük veri paketlerinin etkin bir şekilde iletilmesi gereken uygulamalarda önemli bir çözüm sunmaktadır (Centenaro vd., 2016). LoRa, geniş kapsama alanı ile şehir içi ve kırsal alanlardaki iletişim ihtiyaçlarını karşılayarak, GSM ve RF teknolojilerinin yetersiz kaldığı yerlerde düşük maliyetli ve enerji verimli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. LoRaWAN, düşük veri hızları gerektiren ve yüksek bant genişliği talep etmeyen uygulamalar için idealdir. Bu özellik, Akıllı Ulaşım Sistemlerinde (AUS), araçların ve altyapının birbirleriyle iletişimi için kritik öneme sahiptir (Manzoni vd. 2019). Yüksek frekans kullanan kablosuz haberleşme sistemlerinde birbirini fiziksel olarak görebilen iki nokta arasında iletişim sağlanmaktadır. İletişim için ya birbirini gören iki noktaya ya da bu iki noktayı da görebilen üçüncü bir noktaya ihtiyaç vardır. Örneğin, araçların konum bilgilerini, hızlarını ve diğer önemli verileri toplamak için LoRaWAN tabanlı sensörler kullanılabilir. Bu sensörler, verileri merkezi bir sunucuya ileterek, trafik yönetimi ve yol güvenliği gibi konularda gerçek zamanlı analizler yapılmasına olanak tanır (Xiao vd., 2022).

Çevresel parazitler ve diğer elektronik cihazlardan gelen sinyaller, veri iletimini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, anten ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça sinyal zayıflamakta, bu da veri iletiminde gecikmelere ve kayıplara yol açabilmektedir. Yol ağının çevresinde bulunan yapılar ve engellerin etkileri, sinyalin çeşitli yüzeylerden yansımaları sonucu gürültü ve bozulmalara neden olabilirken, iyonosferik ve atmosferik hava koşulları da sinyal yayılımını etkileyerek sinyal gücü ve iletim kapasitesini azaltmaktadır. Bu durumun etkileri günümüzde özellikle küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS) ve küresel konumlandırma sistemi (GPS) gibi küresel konumlandırma ve seyrüsefer sistemlerinin hassasiyetinin önemli ölçüde azalması gibi çok çeşitli sorun ve zorluklar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Veri iletiminde meydana gelebilecek bu sorun ve zorluklar AUS kapsamında kullanılan sistemler açısından önemli sonuçlara neden olabilir. Ülkemizde AUS kapsamında trafik güvenliği ve yönetiminin en üst seviyedeki örnekleri olan Trafik Yönetim Merkezleri otoyollar ve şehirlerimizde yer alan yol ağlarının mümkün olan en güvenli, en düşük gecikme ve sıkışıklık ile yani en yüksek hizmet seviyesi ile hizmet sunmasını amaçlar. Trafik Yönetim Merkezleri yol ağı ve kentsel altyapıda yer alan

kameralar, sensörler, IoT cihazları ve iletişim sistemlerinden faydalanır. Ancak, mevcut Trafik Yönetim Merkezleri incelendiğinde en yeni ve kapsamlı sistemlerin dahi karasal kablolu iletişim sistemleri -ör. fiberoptik sistemler- kullandığı görülmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023; Anadolu Ajansı, 2021; Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, t.y.). Karasal kablolu iletişim sistemlerinin oldukça uzun ömürlü olduğu ve bant genişliği maliyeti açısından çok önemli avantajları vardır. Bununla birlikte, insan kaynaklı ya da doğal afetler neticesinde karasal kablolu iletişim sistemleri kapsamındaki iletişim hatları fiziki olarak zarar görebilir. Bu ise, iletişim sistemlerinin performansını etkileyebileceği gibi tamamen çalışmasını da durdurabilir.

Özellikle afet sonrası zamanın kritik olduğu müdahale aşamasında, müdahale ekiplerinin etkili yönetimi her açıdan önem arz eder. LoRaWAN teknolojisi ile, sınırlı bir coğrafi alanda dahi olsa, küçük boyuttaki sayısal verinin uzun mesafelerde hızlı iletimi ile müdahale ekiplerinin etkin şekilde yönetilebileceği ortaya konmuştur (Bianco vd., 2021). Benzer şekilde, LoRaWAN teknolojisini kullanan uydular mevcut AUS altyapısında bulunan sistemleri iletişim sistemlerine eklenebilir ve destekleyici bir çözüm olarak gerektiğinde devreye alınabilir. Bu çözümler, afet bölgelerinde son derece değerli olan elektrik enerjisini mümkün olan en verimli şekilde kullanarak uzun mesafeli satısal iletişimi mümkün kılar ve iletişimi kesilen bölgelere hatlar tekrar bağlanana kadar kullanılabilir.

Kablosuz iletişim kusursuz değildir ve iletişim performansı bir çok etmene bağlıdır. Bu etmenler anlık veri iletişiminin oldukça önemli olduğu trafik yönetimi ve altyapı izleme gibi kritik uygulamalarda potansiyel olarak veri doğruluğunu ve güvenilirliğini tehdit edebilir. Bu nedenle, kablosuz iletişim performansını doğru bir şekilde değerlendirmek ve AUS altyapısının kesintisiz iletişimini sağlamak için, gerçek dünya koşullarında yapılan saha testleri büyük önem taşımaktadır. Bu testler, teorik hesaplamalarla elde edilen kapasite tahminlerini doğrulamak açısından kritik rol oynar.

Bu çalışma kapsamında model uydu tasarlanmış, üretilmiş ve saha testleri gerçekleştirilmiştir. Uydu ve yer istasyonu arasında kablosuz iletişim sistemi çift yönlü olarak incelenmiş aynı zamanda hata kodları algoritması ile veri aktarımının denetlenmesi sağlanmıştır. Bu sayede gelen verilerin kontrolü yapılmaktadır. Çarklı ayrılma sistemi ile görev yükü ve taşıyıcının ayrılması gerçekleştirilerek, pasif iniş sistemi ile uygun bir iniş yapması ve veri aktarımı sağlanmaktadır. Model uydu tasarımının canlı görüntü ve veri aktarımı yapabilmesi için uzun mesafeli haberleşme modülleri kullanılmıştır. Tasarlanan model uydunun haberleşme sistemi için E-BYTE E32 433T30D LoRa modülü kullanılmıştır. Lora modülleri kablosuz olarak uzak mesafelere düşük güç tüketimi ile veri aktarımı sağlamaktadır. LoRa, küçük veri parçalarının düşük bit hızlarıyla iletiildiği uygulamalar için son derece ideal bir yöntemdir. LoRa, 1 GHz frekans bandının altında çalışır ve dağıtıldığı bölgeye bağlı olarak 433 MHz, 868 MHz veya 915 MHz radyo bantlarını kullanmaktadır (El Chall vd., 2019). Model Uydu 500-700 metre irtifadan serbest bırakılmış ve 400 metrede iki parçaya ayrılarak çift yönlü haberleşme gerçekleştirmiştir. İnişi sırasında, yer istasyonuna veri aktarımı sağlanmış ve kesintisiz iletişim kurulmuştur. Uydu, canlı görüntü ve veri aktarımı için uzun mesafeli haberleşme modülleri kullanmıştır.

Bu modüller, uydunun aviyonik sisteminden gelen verileri yer istasyonuna aktararak anlık analiz yapılmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, geliştirilen LoRa tabanlı telemetri sistemi, AUS'ta kullanılmak üzere uydu teknolojileriyle entegre edilebilir. Uydu tabanlı iletişim, geniş alanları kapsayarak, akıllı ulaşım altyapısının sürekliliğini ve güvenilirliğini artırır. Düşük enerji tüketimi ve uzun menzil gibi özellikleriyle LoRaWAN, akıllı şehirlerin ulaşım ağlarında kritik bir rol oynayacak, gelecekte daha güvenli ve verimli bir ulaşım sisteminin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

Günümüzün hızla artan iletişim ve veri iletim ihtiyaçlarına yanıt verebilecek düşük maliyetli ve enerji verimli çözümler sunma gereksiniminden kaynaklanmaktadır. Özellikle afet durumlarında ve geniş alanlara yayılmış altyapılarda kesintisiz ve güvenilir haberleşme ihtiyacı kritik bir önem taşımaktadır. Geleneksel karasal iletişim sistemleri, doğal afetler veya insan kaynaklı müdahaleler sonucu işlevselliğini yitirebilirken, LoRa ve uydu tabanlı iletişim sistemleri, bu gibi durumlarda alternatif çözümler sunmaktadır. LoRa teknolojisinin düşük güç tüketimi ve uzun menzilli veri iletimi kabiliyeti, hem akıllı ulaşım sistemlerinde hem de acil müdahale operasyonlarında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışma, bu teknolojilerin entegrasyonu ile güvenilir bir iletişim altyapısı geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde model uydu tasarımı ve işlevselliği için kullanılan malzeme seçimi ve sistem hesaplamaları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, model uydunun haberleşme sistemlerinin tasarımı ve LoRa tabanlı veri iletim sistemi detaylandırılmıştır. Son bölümde ise elde edilen bulgular ve sonuçlar verilmiştir.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, model uydunun tasarımı ve işlevselliği için gerekli malzeme seçimi ve sistem hesaplamaları, belirli mühendislik ilkeleri doğrultusunda yapılmıştır. Model uydunun yapısal dayanıklılığı ve ağırlık optimizasyonu için karbon fiber ve alüminyum alaşımları gibi hafif ve yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmiştir. Görev yükü ve taşıyıcı bölmeleri, darbe dayanıklılığı ve termal stabiliteyi sağlamak amacıyla kompozit malzemelerle güçlendirilmiştir. Enerji verimliliğini sağlamak üzere yüksek enerji yoğunluğuna sahip lityum polimer (Li-Po) bataryalar seçilmiş ve bu bataryalar, uydunun görev süresi boyunca enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde optimize edilmiştir. Görev yükü, çeşitli sensörler ve veri toplama cihazlarından oluşmakta olup, bu sensörler LoRa tabanlı haberleşme sistemi ile donatılmıştır. E-BYTE E32 433T30D LoRa modülleri kullanılarak tasarlanan haberleşme sistemi, 433 MHz bandında çalışarak geniş bir kapsama alanında uzun menzilli ve düşük güç tüketimli veri iletimini sağlamaktadır. Ayrıca, hata kodları algoritması kullanılarak veri iletiminin güvenliği artırılmıştır. Uydu, belirli bir irtifada çarklı ayrılma sistemi ile görev yükü ve taşıyıcıdan ayrılmakta, inişi sırasında paraşüt sistemi ile kontrol edilen bir hızla güvenli bir şekilde yere inmesi sağlanmaktadır. Paraşüt sisteminin boyutları, uydu ağırlığı ve iniş hızına göre hesaplanmış, böylece uydunun güvenli ve kontrollü bir iniş yapması hedeflenmiştir.

### 2.1. Mekanik Tasarım

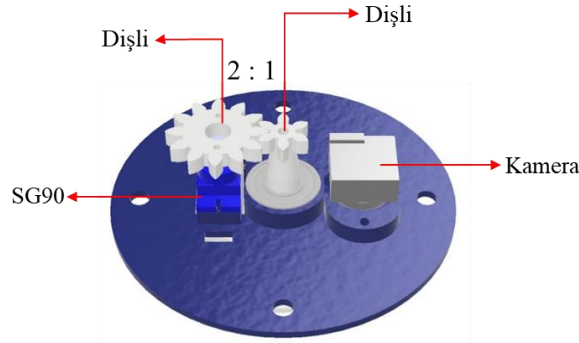
Model uydu taşıyıcı ve görev yükü olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Taşıyıcı tek bir parça halindedir. Taşıyıcı, görev yükünü kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Görev yükü üst kapak, ara katmanlar ve alt tabladan oluşmaktadır. Bu parçalar model uydunun iskeletini oluşturmaktadır. Üç boyutlu (3D) yazıcı kullanılarak basılan olan görev yükü ve taşıyıcı parçaları Polylactic Acid (PLA) türü olan Light Weight (LW) filament ile üretilmiştir. Şekil 1'de görev yükü ve taşıyıcı tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 1. Görev yükü ve taşıyıcı tasarımı.

Model uydu, 400 m irtifaya ulaştıktan sonra, taşıyıcı içerisinde görev yükünün ayrılması beklenmektedir. Görev yükü tamamen otonom olarak ayrılmıştır. Ayrılma sisteminin gerçekleşmesi için kramayer ve düz pinyon ve dişli sistem kullanılmıştır. Pinyon çarka bağlı olarak hareket eden kramayer dişli çubuklar, servo motordan gelen 180°'lik açı ile hareket edecek, bu sayede üstteki kramayer dişli

saat yönünün tersine ve alttaki kramayer dişli saat yönüne dönüş sağlayarak ayrılma işlemi yapılmıştır. Şekil 2’de ayrılma mekanizması tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 2. Ayrılma mekanizması tasarımı.

## 2.2. Aviyonik Sistem

Model uydu, veri aktarımı için taşıyıcı ve görev yükü aviyonik sistemlerini otonom olarak kullanmıştır. Görev yükü aviyonik sisteminde, Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisi tercih edilmiştir. Tablo 1’de Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisi özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisi.

Özellik	Detay
Mikrodenetleyici	Raspberry Pi Pico
İşlemci	Çift çekirdekli ARM Cortex M0+
Veri İşleme	Verileri hızlı bir şekilde işleyebilme yeteneği
Depolama	256 KB RAM ile veri işleme süreçlerini destekleme
GPIO Pin Sayısı	30 adet GPIO pini
İletişim ve Kontrol	Sensörler ve diğer bileşenlerle iletişim kurarak uydunun çeşitli sistemlerini kontrol etme
Desteklenen Programlama Dilleri	MicroPython, CircuitPython, C/C++, Arduino
Enerji Kaynağı Desteği	1.8V ila 5.5V arasında değişen giriş voltajlarını 3.3V'a dönüştürebilen yerleşik buck-boost dönüştürücü
Çalışma Sıcaklığı	20°C - 70°C arasında, zorlu çevre koşullarına dayanıklılık
Kritik Görevler	Model uydu üzerindeki kritik görevleri başarıyla yerine getirme ve verileri etkin bir şekilde iletme

Tabloya ek olarak, Raspberry Pi Pico’nun sunduğu esnek geliştirme ortamı, uydu işlevlerinin programlanmasını oldukça kolaylaştırmıştır. Pico’nun geniş GPIO pin desteği, model uydunun çok sayıda sensör ve bileşenle sorunsuz bir şekilde entegre olmasını sağlamıştır. Ayrıca, buck-boost dönüştürücü sayesinde farklı enerji kaynakları ile çalışma yeteneği, Pico’nun uydu üzerindeki enerji

verimliliğini artırmıştır. Zorlu çevre koşullarında çalışabilme kapasitesi ise, Pico'nun yüksek sıcaklık farklarına rağmen güvenilir performans göstermesine olanak tanımaktadır.

Görev yükünden elde edilen temel veriler basınç, nem ve sıcaklık değerleridir. Bu verilerin toplanması için BME280 sensörü kullanılmıştır. Tablo 2'de BME280 sensörü özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.** BME280 sensör özellikleri.

Sensör	BME280
<b>Sensör Özellikleri</b>	Sıcaklık, basınç ve nem ölçümleri yapabilme
<b>Haberleşme Protokolleri</b>	I2C ve SPI protokollerini destekleme
<b>Basınç Doğruluğu</b>	+/- 1 Pa
<b>Kullanım Alanları</b>	Atmosferik koşulları izleme, meteorolojik değerlendirmeler

BME280 sensörü, Raspberry Pi Pico ile birlikte model uyduda atmosferik koşulların izlenmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Sıcaklık, basınç ve nem ölçümleri yaparak elde edilen veriler, özellikle meteorolojik değerlendirmelerde önemli bilgiler sağlamaktadır. BME280'ün I2C ve SPI haberleşme protokollerini desteklemesi, mikrodenetleyici ile sorunsuz bir entegrasyon sunarken, yüksek basınç doğruluğu (+/- 1 Pa), elde edilen verilerin güvenilirliğini artırmaktadır. (Karapınar vd. 2016). Bu sensörün kullanımı, model uydusu üzerindeki hava durumu izleme görevlerini başarılı bir şekilde yerine getirmektedir.

Model uydunun ivme ve jiroskop verileri için görev yüküne MPU6050 modülü yerleştirilmiştir. Bu modül, I2C haberleşme arayüzü ile 6 ekseninde ölçüm yapabilmektedir (Şentürk vd. 2019). Tablo 3'te MPU6050 modülü özellikleri verilmiştir.

**Tablo 3.** MPU6050 sensör özellikleri.

Sensör	MPU6050
<b>MPU6050 Özellikleri</b>	İvme ölçer ve jiroskop sensörü ile 6 ekseninde hareket algılama
<b>Haberleşme Protokolleri</b>	I2C protokolü ile haberleşme
<b>Kullanım Alanları</b>	Model uydunun hareket ve yönelim verilerini toplama

Ayrıca, uydusu konumunun ve irtifasının belirlenmesi amacıyla GPS Modülü olarak GY-NEO-7M sensörü kullanılmıştır. GY-NEO-7M GPS modülü, model uydunun konum, irtifa ve hız verilerini hassas bir şekilde takip etmek için kullanılmıştır. Bu modül, uçuş sırasında elde edilen verileri güvenilir bir şekilde işleyerek yer istasyonuna iletir. GY-NEO-7M, çeşitli haberleşme protokolleri ile Raspberry Pi Pico'ya sorunsuzca entegre edilebilir ve uydunun yön ve hareket bilgilerini sağlamak amacıyla görev yapar. Uydunun uçuş sırasında konumunu sürekli izleyerek, güvenli iniş ve kurtarma operasyonlarında kritik bir rol üstlenir. Tablo 4'te GY-NEO-7M sensör özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4.** GY-NEO-7M sensör özellikleri.

GPS Modülü	GY-NEO-7M
<b>GPS Özellikleri</b>	56 kanal kapasitesi, 10Hz güncelleme hızı, 500 m/s hız limiti
<b>Haberleşme Protokolleri</b>	UART ve I2C protokollerini destekleme
<b>Kullanım Alanları</b>	Konum, irtifa ve hız takibi

E-BYTE E32 433T30D modülü, model uyduda uzun mesafeli veri iletimi ve düşük güç tüketimi gerektiren haberleşme görevlerini yerine getirmektedir. Modül, çift yönlü veri iletişimi sağlayarak uydudan elde edilen sensör verilerinin güvenilir bir şekilde yer istasyonuna iletilmesini sağlar. UART protokolü ile Raspberry Pi Pico'ya entegre edilen bu modül, yüksek sinyal hassasiyeti ve güvenilir veri iletimi sayesinde geniş alanlarda etkili bir çözüm sunar. LoRa teknolojisi ile donatılmış bu modül, uydunun uçuş sırasında kesintisiz veri aktarımını mümkün kılar. Tablo 5'te E-BYTE E32 433T30D sensör özellikleri verilmiştir.

**Tablo 5.** E-BYTE E32 433T30D sensör özellikleri.

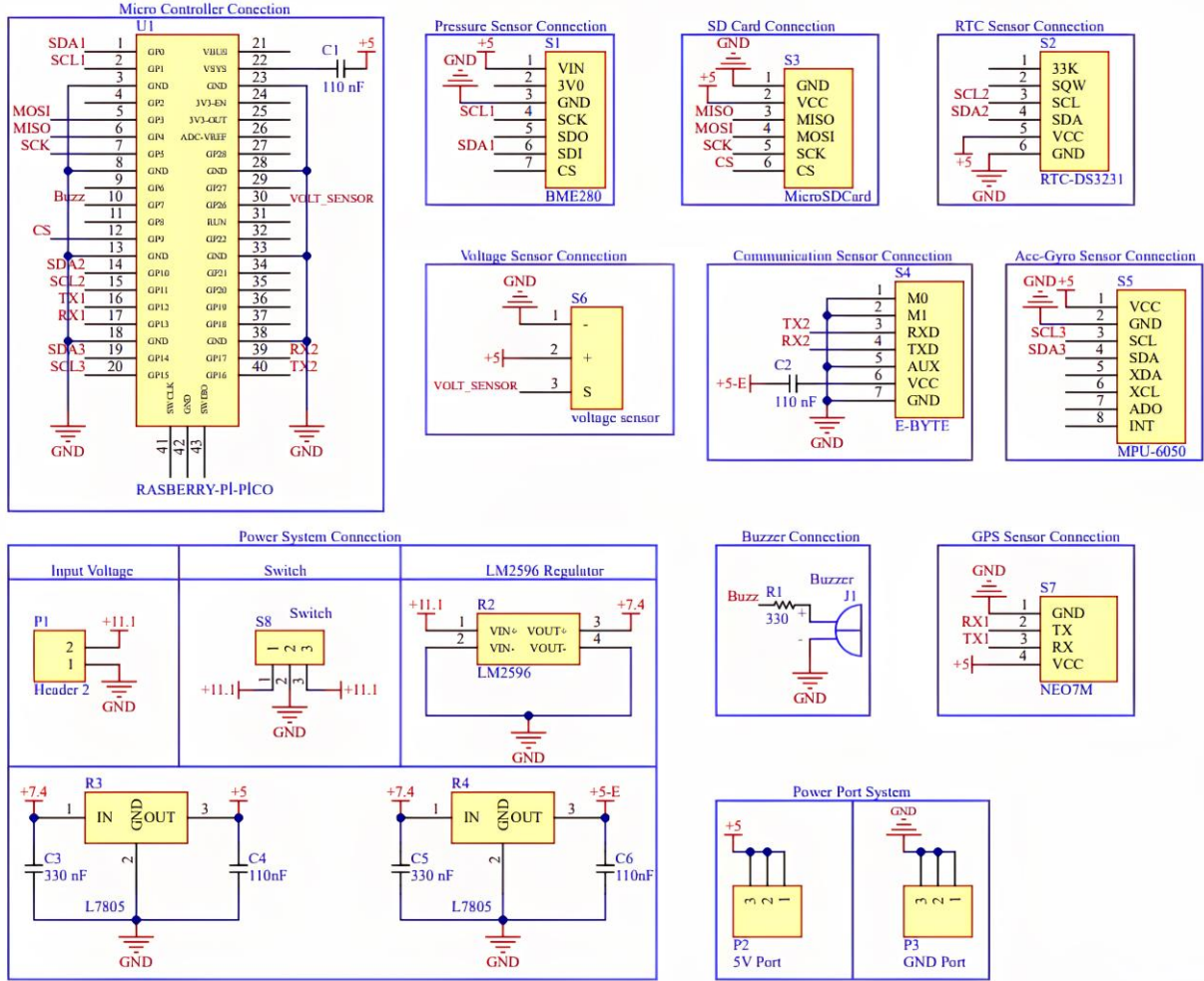
LoRa Modülü	E-BYTE E32 433T30D
Modül Özellikleri	Düşük güç tüketimi, uzun mesafeli veri iletimi, yüksek sinyal hassasiyeti
Haberleşme Protokolleri	UART protokolünü destekleme
Kapsama Alanı	Açık alanda 5 km'ye kadar mesafe
Güç Tüketimi	Maksimum 140 mA
Kullanılan Entegre	SX1278 LoRa entegresi
Kullanım Alanları	Veri iletimi, çift yönlü iletişim, model uydu haberleşme sistemleri

Şekil 3 ve Şekil 4, görev yükü ve taşıyıcı aviyonik sistemlerinin elektronik devre tasarımlarını gösteren şemalardır ve bu şemalar, Altium programı kullanılarak oluşturulmuştur. Sistemin çalışma zamanını ve saat doğruluğunu sağlamak amacıyla RTC DS3231 (Real Time Clock) modülü kullanılmıştır. Bu modül, +/- 1 dk/yıl saat hassasiyeti ile doğru veriler sunmaktadır.

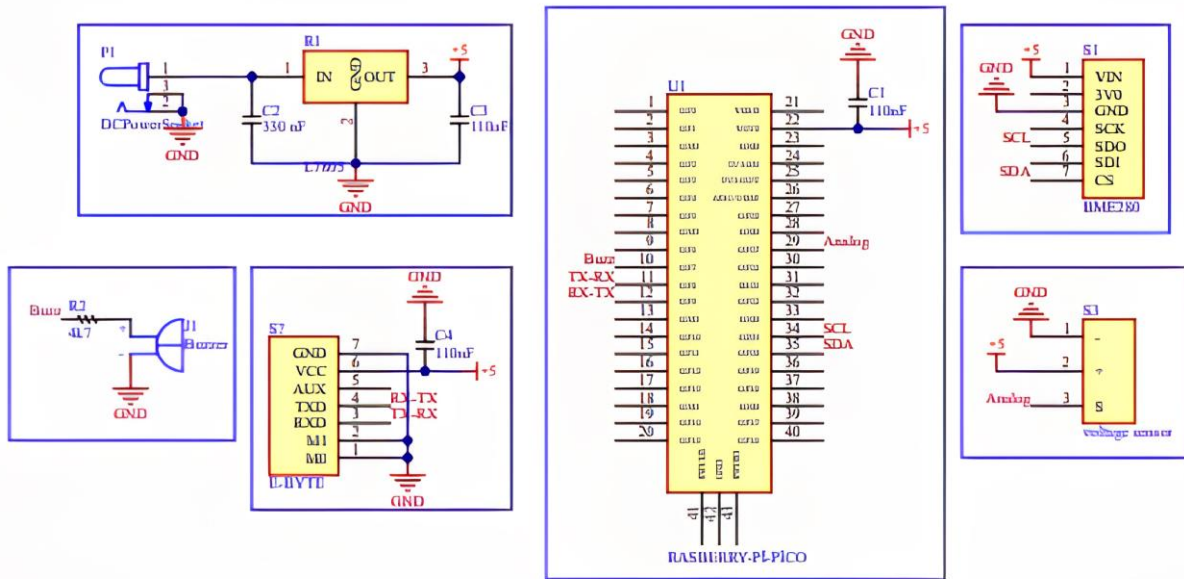
Sistemin güç tüketimi Motorbit voltaj sensörü ile izlenmiş ve DC 0-25V arası ölçüm yaparak sistem stabilitesi kontrol edilmiştir. Verilerin kaydedilmesi amacıyla Micro SD kart modülü kullanılmış ve SPI haberleşme protokolü sayesinde SD kartlara okuma ve yazma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Taşıyıcı ve görev yükü ayrıldıktan sonra veri aktarımının kesintisiz sürdürülmesi için taşıyıcıya ayrı bir elektronik sistem tasarlanmış ve Raspberry Pi Pico mikrodenetleyici kullanılmıştır. Taşıyıcı aviyonik sistemi, görev yüküne verileri iletmek için E-BYTE E32 433T30D modülünü kullanarak çift yönlü veri aktarımını sağlamıştır.





Şekil 3. Görev yükü kartı şematik görünümü.



Şekil 4. Taşıyıcı kartı şematik görünümü.

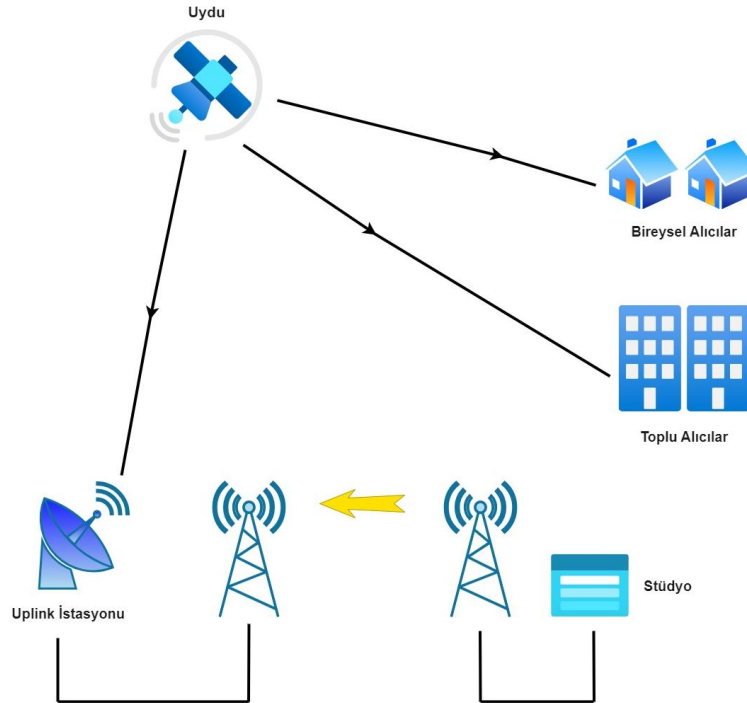
### 2.3. Haberleşme Sistemi

AUS'un gelişimi ve yaygınlaşması ile, kablosuz veri iletişimde daha uzun mesafelere daha az enerji harcayarak ulaşma gereksinimi giderek artmaktadır. Bu gereksinimi karşılamak üzere, düşük güç tüketimi ve geniş kapsama alanı sunan LoRa teknolojisi, veri iletiminde kritik bir rol oynamaktadır. LoRa, özellikle büyük alanlarda küçük veri paketlerinin etkin bir şekilde iletilmesi gereken uygulamalar için idealdir ve akıllı şehirlerin ulaşım altyapısında önemli bir bileşen haline gelmiştir.

Model uyduda iki aşamalı bir haberleşme sistemi uygulanmıştır. Birinci aşama taşıyıcı – görev yükü ve ikinci aşama görev yükü – yer istasyonu arasındaki haberleşme şeklinde gerçekleşmektedir.

#### 2.3.1. LoRa ve LoRaWAN

LoRa terimi, düşük enerji tüketimiyle uzun mesafelere veri iletimi sağlayan ağ yapıları kurmayı hedefleyen bir kavramdır. LoRa, Semtech'in tescilli bir yayılmış spektrum modülasyon tekniğidir. LoRa'nın fiziksel katmanı, herhangi bir medya erişim kontrolü (MAC) katmanı ile kullanılabilir; ancak LoRaWAN, basit bir yıldız topolojisinde bir ağ işleten önerilen MAC katmanıdır (Bor vd. 2016). Şekil 5'de LoRa haberleşme sistemi şeması belirtilmiştir.



Şekil 5. LoRa haberleşme sistemi şeması.

LoRa, uzun mesafe iletimi sağlamak için kullanılan bir kablosuz modülasyon yöntemi veya bir diğer ifadeyle fiziksel katmandır. Geleneksel kablosuz haberleşme teknolojilerinde fiziksel katmanda kullanılan Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) modülasyonunun aksine, LoRa, Chirp Spread Spektrum (CSS) modülasyonunu kullanmaktadır. Bu sayede, düşük güç tüketimi yeteneğine ek olarak uzun iletim mesafesi avantajı da sağlamaktadır (Yasintimur vd. 2021). Ağ geçitleri, standart IP bağlantıları aracılığıyla ağ sunucusuna bağlanır ve şeffaf bir köprü görevi görerek RF paketlerini IP paketlerine dönüştürür veya bunun tam tersini gerçekleştirir (Erkan vd. 2022). Bu bağlamda, ağ geçitleri sunucu ile uç cihazlar arasında çift yönlü bilgi transferi sağlar.

LoRaWAN, LoRa teknolojisinin ağ mimarisi ve iletişim protokolüdür. Bu yapı, uç cihazların hizmet kalitesi, enerji verimliliği ve güvenlik seviyelerini belirleyen kritik unsurları içermektedir. LoRaWAN, iletişimde yıldız ağ topolojisini benimser ve bu sayede cihazların merkezi bir noktaya etkin bir şekilde

bağlanmasını sağlar. Şekil 5'te LoRa haberleşmesinin sistemler arası çalışma prensibi akış yönleri gösterilmiştir.

LoRaWAN ağları, veri iletimi için çoklu erişim protokolü kullanır, bu nedenle uç cihazların belirli ağ geçitleriyle eşleşmesine gerek yoktur. Uç cihazlardan gönderilen mesajlar, iletim kanalının boş olup olmadığına bakmadan etkili mesafe içindeki tüm ağ geçitlerinden geçerek bilgi iletişimi gerçekleşir.

LoRaWAN üzerinde herhangi bir uç cihaz, ağa iki şekilde bağlanabilir: Uzaktan aktivasyon ile bir ağ anahtarı ve bir uygulama oturumunun oluşturulmasıyla veya kişisel etkinleştirmeyle sağlanan basit bağlantı ile ağa eklenebilir. Bir LoRaWAN uç cihazı, genellikle pil ile çalışan bir sensör veya bir aktüatör olabilir. Sensörler, fiziksel bir hareketi veya durumu elektriksel sinyale dönüştürürken; aktüatörler ise elektriksel bir sinyalin mekanik bir duruma dönüştürülmesinden sorumludur (Erkan, Fidan ve Oğraş, 2022). Bununla birlikte, LoRaWAN mimarisi ile çalışabilme yeteneği de modülün esnekliğini artırır. LoRaWAN, LoRa teknolojisinin üzerine inşa edilmiş bir ağ protokolü olarak, cihazların ağ üzerinden güvenli ve etkin bir şekilde iletişim kurmasını sağlar. Ancak, E32 433T30D modülü doğrudan LoRaWAN desteği sunmaz; bu modülün LoRaWAN uyumlu bir ağ geçidi ve protokol yığını ile kullanılması gerekebilir. LoRa, her sembolü göndermek için bir frekans bandı kullanan CSS tekniğini kullanır. Bu teknikte, değişken frekanslara sahip sinüzoidal darbeler gibi cıvıltı darbeleri sinyali modüle eder. Bu CSS modülasyonu, LoRa'nın girişime, Doppler ve çok yol etkilerine ve LoRa sinyal yayılımını etkileyen çevresel etkilere karşı direncini artırır (Wiyadi, 2020).

### 2.3.2. Haberleşme Modülü

Haberleşme sistemi, taşıyıcı aviyonik sisteminden alınan basınç verisinin E-BYTE E32 433T30D modülü ile görev yüküne aktarılmasıyla çalışır. Görev yükünde toplanan veriler, aynı modül aracılığıyla yer istasyonuna iletilir, böylece sistem alıcı-verici olarak işlev görür. LoRa modülasyonu, E32 433T30D modülüne veri iletiminde yüksek hassasiyet ve düşük enerji tüketimi sağlar, bu da geniş alan ağlarında ve enerji verimliliğinin önemli olduğu durumlarda avantaj sunar. LoRaWAN'ın güvenlik özellikleri de AUS için kritik bir öneme sahiptir. IoT cihazlarının güvenliği, veri gizliliği ve sistemin bütünlüğü açısından büyük bir endişe kaynağıdır. LoRaWAN, veri iletiminde şifreleme ve kimlik doğrulama gibi güvenlik önlemleri sunarak, bu endişeleri azaltmaktadır (You vd., 2018). Ancak, bu sistemlerin güvenliğini sağlamak için sürekli güncellemeler ve iyileştirmeler gerekmektedir (Goulart vd., 2022). LoRaWAN'ın sunduğu uzun menzil ve düşük enerji tüketimi, özellikle şehir içi ulaşım sistemlerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel iletişim yöntemlerine kıyasla, LoRaWAN ile daha az enerji harcayarak daha geniş bir alanda veri iletimi gerçekleştirilebilir. Bu durum, AUS'un sürdürülebilirliğini artırmakta ve işletme maliyetlerini düşürmektedir (Reyneke vd., 2023). Ayrıca, LoRaWAN, çok sayıda cihazın aynı anda bağlanmasına olanak tanıyarak, yoğun trafik alanlarında bile etkili bir iletişim sağlamaktadır. (Qadir vd., 2018). Bu çalışmada, LoRa fonksiyonlarına sahip E32 433T30D modülü ile çalışılmış ve sürdürülebilirlik artırılmıştır. Tablo 6'da modülün pin girişleri açıklanmıştır.

**Tablo 6.** E32 Haberleşme Modülü Pin Girişleri.

No.	Adı	Yön	İşlev
1	M0	Giriş	Modülün 4 çalışma modunda birisini seçmek için M1 ile kullanılır. Kullanılmayacaksa şaseye çekilmelidir.
2	M1	Giriş	Modülün 4 çalışma modunda birisini seçmek için M0 ile kullanılır. Kullanılmayacaksa şaseye çekilmelidir.
3	RXD	Giriş	TTL UART veri girişi pini. Bir PC, MCU gibi harici cihazın TX pinine bağlanır. Açık kollektör veya push-pull olarak ayarlanabilir.
4	TXD	Çıkış	TTL UART veri girişi pini. Bir PC, MCU gibi harici cihazın RX pinine bağlanır.
5	AUX	Çıkış	Modülün durumunu göstermek ve harici bir MCU'yu uyandırmak için kullanılabilir. Modül ilk başladığında 0 konumundadır. Push-pull olarak ayarlanabilir.

Modülün M0 ve M1 pinleri kullanılarak dört farklı çalışma modu seçilebilir. Bunlar Tablo 7'de gösterilmektedir.

**Tablo 7.** Haberleşme modülünün çalışma modları.

Mod (0-3)	M0	M1	Mod Tanımı	Açıklama
<b>0 Normal</b>	0	0	UART ve kablosuz kanal açık, şeffaf iletim açıktır.	Alıcı mod 0 veya mod 1'de çalışmalıdır.
<b>1 Uyanma</b>	1	0	UART ve kablosuz kanal açıktır, mod 0 ile tek fark, veri ilemeden önce, uyandırma kodunu otomatik olarak artırarak alıcıyı mod 3 altında uyandırabilmektedir.	Alıcı 0,1 veya 2 olabilir.
<b>2 Güç tasarrufu</b>	0	1	UART yakın, kablosuz hava uyandırma modunda, veri aldıktan sonra UART açılır ve veri gönderir.	Verici mod 1 olmalıdır, bu modda iletim yapamaz.
<b>3 Uyku</b>	1	1	Uyku modu, parametre ayar komutu alma kullanılabilir.	Parametre spesifikasyonu hakkında daha fazla ayrıntıya sahiptir.

Yukarıdaki tablodan anlaşılacağı üzere, 0. modda modülde herhangi bir enerji tasarrufu yapılmamaktadır. Modüller, birbirlerine ekstra herhangi bir işlem yapmadan veri alıp gönderebilirler. Mod 1'de ise, Mod 0'dan farklı olarak verici, veri göndermeden önce 3. modda bulunan (uyku modundaki) alıcıyı uyandırmak için otomatik olarak uyandırma sinyali gönderir. Alıcı modüllerin illa Mod 3'te (uyku modu) olmasına gerek yoktur; diğer modlardaki alıcı modüller de vericinin gönderdiği verileri alabilirler. Mod 2'de, alıcı modülün UART (evrensel asenkron alıcı-verici) arayüzü ve RF katı uyku modundadır. Bu alıcıyı uyandırabilmek için, bu alıcıya veri gönderen verici modülün Mod 1'de olması gerekmektedir. Mod 3 ise derin uyku modudur; bu modda modül herhangi bir veri gönderemez veya alamaz. Mod 3'teyken, sadece UART üzerinden modülün parametre ayarları yapılabilir. Başka bir deyişle, modülün parametre ayarlarını yapabilmek için modül Mod 3'te bulunmalıdır. Modülün parametre ayarlarını değiştirirken, UART ayarları 9600 bps (bit per second, saniye başına bit) ve 8N1 (8 veri biti, no parity, 1 stop biti) şeklinde olmalıdır. Tablo 8'de, modülün parametre ayarlarını değiştirecek komutların açıklamaları verilmiştir.

**Tablo 8.** Haberleşme modülünün parametre ayarları.

No.	Talimat Formatı	Gösterim/İllüstrasyon
1	C0+çalışma parametreleri	C0+5 bayt çalışma parametreleri onaltılık biçimde gönderilir. Toplamda 6 bayt ve art arda gönderilmelidir, (Güç kapatıldığında parametreleri kaydedin).
2	C1+C1+C1	Üç C1 onaltılık biçimde gönderilir. Modül, kaydedilen parametreleri döndürür ve art arda gönderilmelidir.
3	C2+ çalışma parametreleri	C2 + 5 bayt çalışma parametreleri onaltılık formatta toplam 6 bayt olarak gönderilir ve art arda gönderilmelidir. (Güç kapalıyken parametreleri kaydetmeyin)
4	C3+C3+C3	Üç C3 onaltılık biçimde gönderilir. Modül, sürüm bilgisini döndürür ve bunların art arda gönderilmesi gerekir.
5	C4+C4+C4	C4 C4 C4, modül bir kez sıfırlanır.

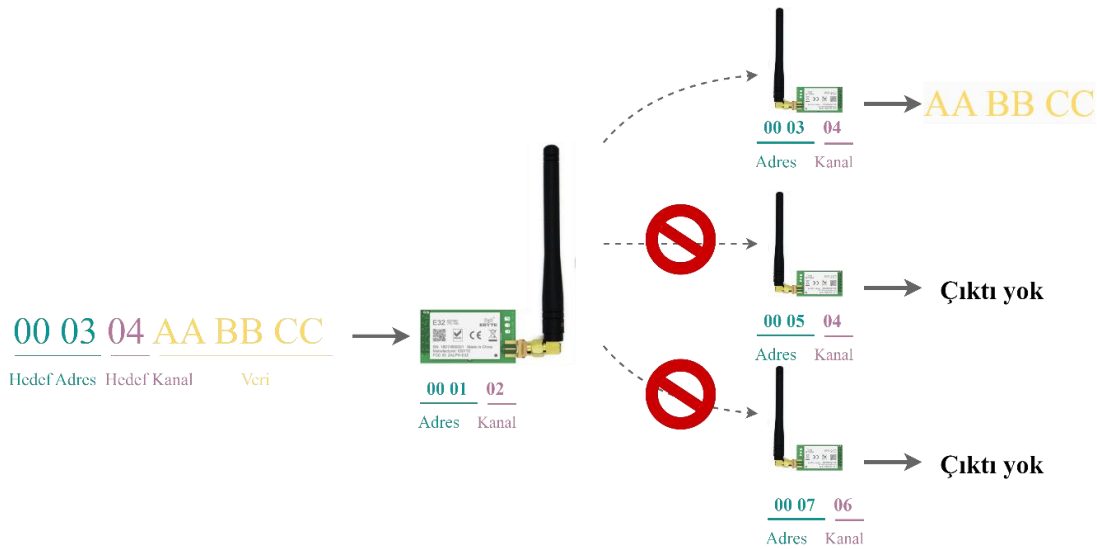
Tabloda gösterilen tüm veriler onaltılık (hexadecimal) tabanda verilmiştir. UART üzerinden parametre ayarları yapılırken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Modül Mod 3'teyken (M0=1, M1=1) arka arkaya üç kez 0xC1 verisi gönderildiğinde, modül mevcut parametrelerini onaltılık taban formatında gönderir. Arka arkaya üç kez 0xC3 verisi gönderildiğinde, modül versiyon bilgisini gönderir. Üç kez 0xC4 verisi gönderildiğinde ise modül resetlenir. C0 ve C2 komutları ise parametre ayarları yapmak için kullanılır. C0 ile başlayan parametre ayarları modülün hafızasına kaydedilirken, C2 ile başlayanlar kaydedilmez ve modülün enerjisi kesildiğinde silinir. C0 ve C2 ile başlayan parametre ayarları toplamda

6 byte olmalıdır. Örneğin, “0xc2, 0x00, 0x01, 0x1a, 0x17, 0xc4” verileri arka arkaya gönderildiğinde parametre ayarları aşağıdaki gibidir:

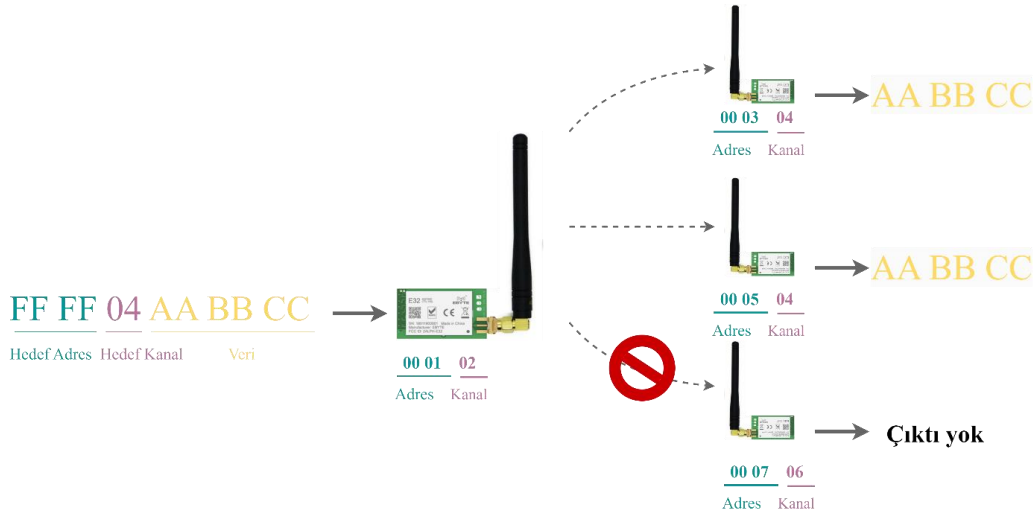
- **0xc2:** Kayıt Ayarı. Güç kesildiğinde ayar verilerini kaydetmez.
- **0x00, 0x01:** Adres Ayarı. Adres 0001 olarak ayarlanmıştır.
- **0x1a:** UART Ayarı.  $0x1a = 0b00011010 \rightarrow 00: 8N1, 011: 9600 \text{ bps}, 010: \text{Air baud } 2400 \text{ bps}.$
- **0x17:** Kanal Ayarı.  $0x17 = 23, 410 \text{ MHz} + 23 \text{ MHz} = 433 \text{ MHz}.$
- **0xc4:** Çeşitli Ayarlar.  $0xc4 = 0b11000100 \rightarrow 1: \text{Sabit iletişim}, 1: \text{Push-pull TX, RX}, 000: \text{Wake-up time (bu uygulamada sleep kullanılmadığı için kullanılmaz)}, 1: \text{FEC açık}, 00: \text{Güç } 30 \text{ dBm}.$

Parametre ayarlarında dikkat edilmesi gereken en önemli kısımlardan biri, air baud (kablosuz veri aktarım hızı) ayarıdır. Bu ayar, kablosuz veri iletim hızını 300 bps ile 19200 bps arasında değiştirebilir. Veri iletim hızı ne kadar düşük olursa, modülün menzili o kadar artar. Modül, 410 MHz ile 441 MHz arasındaki frekanslarda çalışabilmektedir. Bu frekans aralığında istediğimiz frekansı seçerek modülün kanalını ayarlayabiliriz. Ancak, sadece aynı kanaldaki modüller birbirleriyle iletişim kurabilir.

Bir diğer önemli ayar ise ileri hata düzeltme (FEC) ayarıdır. FEC hatalı veri iletimini engelleyen bir haberleşme tekniğidir. FEC iptal edilirse, veri iletim hızı artabilir, ancak veri kayıpları yaşanabilir. 21 dBm, 24 dBm, 27 dBm ve 30 dBm değerlerinde çalıştırılabilir. Çıkış gücü arttıkça, iletişim menzili artacak, ancak modülün enerji tüketimi de artacaktır. Bu modülün en dikkat çekici özelliklerinden biri, transparan (transparent) ve sabit (fixed) iletişim kurabilme yeteneğidir. Transparan iletişimde, modül veriyi gönderir ve diğer tüm modüller bu veriyi alabilir. Sabit iletişim modunda ise modül, veriyi sadece belirli bir kanaldaki belirli bir adrese sahip modüle gönderir, yani noktasal iletişim sağlar. Bu, kablosuz bir ağ kurulması durumunda büyük bir kolaylık sunar. Şekil 6 ve Şekil 7’de veri gönderim şemaları gösterilmiştir.



Şekil 6. Sabit veri gönderimi.



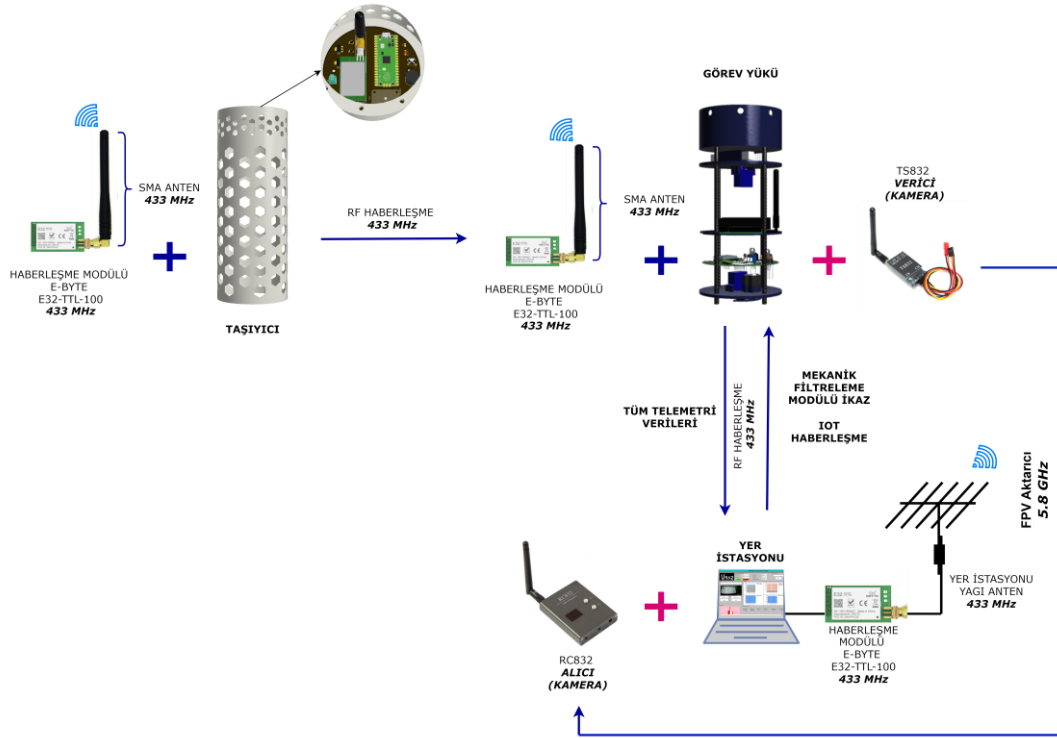
**Şekil 7.** Transparan veri gönderimi.

Sabit veri gönderiminde, Şekil 6’da, 0001 adresine sahip modül, 0003 adresine sahip ve 4. kanalı kullanan modüle AA BB CC verisini göndermektedir. Bu verileri, farklı adreslere sahip olan ve farklı kanallarda çalışan diğer modüller alamazlar. Şekil 7 transparan veri gönderiminde ise, veri gönderecek olan modül transparan moddardır ve bu durumda modülün herhangi bir adres verisi göndermesine gerek yoktur. Herhangi bir adres değeri gönderilebilir ancak geçersizdir. Modül, 4. kanaldan yayın yapmaktadır ve 4. kanalda çalışan tüm modüller, vericinin gönderdiği verileri alacaktır. Şekilde, 6. kanalda çalışan modülün bu veriyi alamadığı görülmektedir. Tüm bu hesaplamalar ve haberleşme sonucunda, model uydudan alınan telemetri verileri iki aşamalı olarak görev yükünden taşıyıcıya, taşıyıcıdan yer istasyonuna aktarılabilir.

### 2.3.3. Sistemler Arası Haberleşme

Taşıyıcı ile görev yükü arasındaki sistemler arası haberleşmenin çalışma prensibi, uçuş ve iniş aşamalarında kesintisiz ve güvenilir veri aktarımını sağlamak üzere tasarlanmıştır. Uçuş süresince görev yükü, her saniye telemetri verilerini toplayarak yer istasyonuna iletir ve bu veriler aynı zamanda görev yükü üzerindeki belleğe kaydedilir. Ayrılma sonrası görev yükü, taşıyıcıdan aldığı verileri de işleyerek yer istasyonuna aktarır. Görev yükü üzerindeki sensörler, uçuş boyunca video görüntülerini kaydeder ve bu görüntüler de gerçek zamanlı olarak yer istasyonuna iletilir. Telemetri verileri ve video görüntüleri, yer istasyonunda anlık olarak izlenir ve grafiksel olarak gösterilir. Görev tamamlandığında, tüm veriler SD karta kaydedilir. Ayrıca, görev yükü ve taşıyıcı, kurtarma ekibi tarafından bulunana kadar sesli ikaz verir ve yer istasyonu arayüzü iniş yapılan konumu gösterir. Bu sistem, telemetri ve video verilerinin güvenilir bir şekilde toplanmasını, işlenmesini ve iletilmesini sağlayarak Şekil 8’de gösterildiği gibi model uydu operasyonlarının başarıyla gerçekleştirilmesine olanak tanır.





Şekil 8. Sistemler arası haberleşme.

RF antenler, kablosuz iletişimde elektromanyetik dalgaları yaymak ve almak için kullanılan kritik bileşenlerdir. Özellikle LoRa modülleri gibi düşük güç tüketimi ve uzun menzil sunan haberleşme teknolojilerinde, antenlerin seçimi, sistemin genel performansını doğrudan etkiler. LoRa modülleri, geniş alanlarda veri iletimi için optimize edilmiş olup, RF antenlerin doğru bir şekilde entegre edilmesi, veri iletiminde güvenilirlik ve verimlilik sağlar. Bu bağlamda, Tablo 4’te karşılaştırılması yapılan görev yükü ve taşıyıcı antenleri benzer yapıdadır ve bu nedenle aynı tabloda değerlendirilmiştir. Görev yükü için DAA043SA100N RF anteni kullanılırken, taşıyıcı anteni, tasarımın istenen ölçülere uygun olması amacıyla 50 mm kısa tip RF anten olarak seçilmiştir. Her iki anten de düşük güç tüketimi ve yüksek verimlilik sağlayacak şekilde tasarlanmış olup, güvenilir veri iletimi için gerekli tüm teknik özellikleri karşılamaktadır. Bu özellikler, sistemin farklı irtifalarda ve koşullarda kesintisiz çalışmasını destekler ve operasyonel başarıyı artırır. Tablo 9’da anten karşılaştırma parametreleri gösterilmiştir.

Tablo 9. Haberleşme modülü için antenlerin karşılaştırılması.

Seçim Kriterleri	Male Anten	RF Anten	RF Anten	RF Anten
Model	DAA043SA064S	ANT-2.4-LCW-RPS	DAA043SA100N	Kısa Tip RF
Frekans	433 MHz	2.4GHz~2.5GHz	433 MHz	433 MHz
Kazanç Faktörü	3 dBi	2.8 dBi	3 dBi	3 dBi
Polarizasyon	Dikey	Dikey	Dikey	Dikey
Boyut	133mm*64 mm	83.1 mm	100 mm	50 mm

Çekim mesafesini etkileyen tek parametre anten kazancı olmadığı için diğer parametreler de incelenmiştir. Çekim mesafesini etkileyen diğer parametreler iletim gücü, alıcı hassasiyeti, alıcı-verici anten kazancı, kayıplar, antenin bağlandığı modül çekim mesafesini etkileyen diğer parametrelerdir.

Parametrelerden de anlaşıldığı gibi çift yönlü iletişimde alıcı verici farklıysa her iki yönün maksimum iletim mesafesi farklıdır. Kullanılacak olan sistemde çift yönlü iletişim olduğundan minimum mesafe dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bağlantı bütçesi, bir iletişim sinyalinin bir telekomünikasyon

sisteminde tüm güç kazanç ve kayıplarının bir hesabıdır. Bu hesap için çekim mesafesini etkileyen tek parametre anten kazancı olmadığı için diğer parametreler de incelenmiştir. 433 MHz'lik antenin ışıma şiddetinin dikey eksenlerindeki yoğunlaşması Bu şekilde gerçekleşen bir iletişimde anten 3dBi kazanç sağlamaktadır.

İletim gücü, alıcı-verici anten kazancı ve alıcı hassasiyeti antenin bağlandığı modül çekim mesafesini etkileyen diğer parametrelerdir. Parametrelerden de anlaşıldığı gibi çift yönlü iletişimde alıcı verici farklıysa her iki yönün maksimum iletim mesafesi farklıdır. Kullanılacak olan sistemde çift yönlü iletişim olduğundan minimum mesafe dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır (Bor, vd., 2016). Bağlantı bütçesi, denklem (1)' de gösterildiği gibi bir iletişim sinyalinin bir telekomünikasyon sisteminde tüm güç kazanç ve kayıplarının bir hesabıdır. Tablo 10'da bağlantı bütçesi parametreleri belirtilmiştir.

**Tablo 10.** Bağlantı bütçesi parametreleri.

<b>Bağlantı Bütçesi</b>	
<b><math>P_{Tx}</math> (Verici Güç Çıkışı)</b>	30 dBW
<b><math>G_{Tx}</math> (Verici Anten Kazancı)</b>	3 dBi
<b><math>L_{Tx}</math> (Verici Kayıpları, Kablo, Konnektör)</b>	1 dBm
<b><math>L_M</math> (Çeşitli Kayıplar, Solma Payı, Polarizasyon)</b>	3 dB
<b><math>L_{FS}</math> (Yol Kaybı, Serbest Alan Kaybı)</b>	98.2 dBm
<b><math>G_{Rx}</math> (Alıcı Anten Kazancı)</b>	12 dBi
<b><math>L_{Rx}</math> (Alıcı Kayıpları, Kablo, Konnektör)</b>	1 dB
<b>E-BYTE Verici Gücü</b>	30 dBm
<b>E-BYTE Alıcı Hassasiyeti</b>	-147 dBm

Tüm bu etkileri içeren ve logaritmik olarak ifade edilen bir bağlantı bütçesi denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FX} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (1)$$

Radyo sinyallerinin yayılması üzerine yapılan çalışmalar, çeşitli modellerin kullanılabilceğini göstermektedir (Jones, 2005). Verici ve alıcı antenler arasındaki yayılmadan kaynaklanan kayıp, genellikle yol kaybı olarak adlandırılır ve mesafeyi dalga boyuna göre normalleştirerek boyutsuz biçimde yazılabilir:

$$L_{FS}(dB) = 20 \log_{10} \left( 4\pi \frac{\text{mesafe}}{\text{dalga boyu}} \right) \quad (2)$$

Yukarıdaki bağlantı bütçesi denklemine yerine konulduğunda sonuç Friis iletim denkleminin logaritmik biçimi olur. Bazı durumlarda, mesafe ve dalga boyundan kaynaklanan kaybı ayrı ayrı ele almak uygundur, ancak bu durumda, her seçim farklı bir sabit ofset içerdiğinden, hangi birimlerin kullanıldığını takip etmek önemlidir. Aşağıda kullanılan denklem verilmiştir.

$$L_{FS}(dB) \approx -27,55 \text{ dB} + 20 \log[\text{frekans}(Mhz)] + 20 \log_{10}[\text{mesafe}(m)] \quad (3)$$

- $d$  (uzaklık) = 1000 m
- $f$  (frekans) = 433 MHz
- $20 \log d$ : Sinyalin uzaklık nedeniyle kaybettiği güç (mesafe faktörü).
- $20 \log f$ : Sinyalin frekansı nedeniyle kaybettiği güç (frekans faktörü).



- $-27.55$ : Sabit bir değer. Bu değer, frekansın MHz cinsinden, mesafenin metre cinsinden verildiği birim dönüşümü sabitidir.

$$L_{FS} = 20 \log d + 20 \log f - 27.55 = 85.179 \text{ dBm} \quad (4)$$

Alıcı kayıpları  $L_{RX}$  ve  $L_{TX}$ , anten ile alıcı arasındaki koaksiyel kablolar, konnektörler ve alıcı cihazın iç bileşenlerinden kaynaklanan sinyal zayıflamalarıdır. Koaksiyel kablolardaki iletkenlik ve dielektrik kayıplar, sinyalin frekansa bağlı olarak zayıflamasına yol açar. Her bir konnektör de küçük miktarda yansıma ve iletim kayıplarına neden olur. Zamanla bu kayıplar çevresel etkiler nedeniyle artabilir ve toplamda alıcı cihazın performansını etkileyebilir. Bu tür pasif bileşenlerden kaynaklanan toplam kayıp, yaklaşık 1 dBi olarak hesaplanmış ve genel bağlantı bütçesinde dikkate alınmıştır.

- $L_{RX} = 1 \text{ dBm}$
- $L_{TX} = 1 \text{ dBm}$
- $30 \text{ dBW} + (-1 \text{ dBm}) + 3 \text{ dBi} + (-85.18 \text{ dBm}) + (-3 \text{ dBm}) + (-1 \text{ dBm}) + 12 \text{ dBm}$
- Hesaplama  $P_{RX} = -45.18 \text{ dBm} > -147 \text{ dBm}$  olduğundan teorik olarak E-BYTE modülü ve antenler sorunsuz bir şekilde haberleşme sağlayacaktır.

Tablo 11’de taşıyıcı anten özellikleri belirtilmiştir.

**Tablo 11.** Taşıyıcı Anten Özellikleri

Seçim Kriterleri	Anten
Model	Mini Anten SMA 90 derece
Frekans	420- 470 MHz
Kazanç Faktörü	3 dBi
Polarizasyon	Dikey

Hesaplanan bağlantı bütçesi, taşıyıcı anten için geçerlidir ve görev yükünden farklı olarak boyutlandırma gerektirir; bu durum, taşıyıcı aviyonik sisteminin mekanik boyutlarından kaynaklanmaktadır. Hesaplanan  $P_{RX}$  değeri  $-43.67 \text{ dBm}$  ise, teorik olarak E-BYTE modülü ve antenlerin sorunsuz bir iletişim sağlayacağı öngörülebilir, çünkü bu değer  $-147 \text{ dBm}$ ’den büyüktür. Taşıyıcı antenin yapılan testler ve denemeler sonucunda, çevresel parazitler, haberleşme modülü güç tüketimi ve diğer cihazlardan gelen sinyaller gibi faktörlerin yanı sıra, taşıyıcı-görev yükü-yer istasyonu arasındaki mesafe arttıkça iletişim güçlükleri yaşandığı tespit edilmiştir. Tablo 12’de yer istasyonu anten özellikleri belirtilmiştir. Denklem (5), (6) ve (7) sırasıyla tüm kazanç ve kayıp hesaplamalarını göstermektedir.

**Tablo 12.** Yer istasyonu anten özellikleri.

Seçim Kriterleri	Anten
Model	12 dBi Yagi Anten
Frekans	415-445 Mhz
Kazanç Faktörü	12 dBi
Polarizasyon	Dikey

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FX} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (5)$$

$$L_{FX} = 20 \log d + 20 \log f - 27.55 \quad (6)$$

$$L_{FS} = 20 \log d + 20 \log f - 27.55 = 94.722 \text{ dBm} \quad (7)$$

- $d$  (uzaklık) = 3000 m
- $f$  (frekans) = 433 MHz
- $L_{RX} = 1 \text{ dBm}$
- $L_{TX} = 1 \text{ dBm}$
- $30 \text{ dBW} + (-1 \text{ dBm}) + 3 \text{ dBi} + (-94.722 \text{ dBm}) + (-3 \text{ dBm}) + (-1 \text{ dBm}) + 12 \text{ dBm}$
- Hesaplama  $P_{RX} = -54.72 \text{ dBm} > -147 \text{ dBm}$  olduğundan teorik olarak E-BYTE modülü ve antenler sorunsuz bir şekilde haberleşeceklerdir.

Taşıyıcı ve görev yükü antenleri ile yer istasyonu arasındaki haberleşme, LoRa tabanlı modüllerin sağladığı düşük güç tüketimi ve uzun menzil avantajlarıyla optimize edilmiştir. Çevresel parazitler, diğer elektronik cihazlardan gelen sinyaller ve anten ile alıcı arasındaki mesafe gibi faktörler, iletişim performansını etkileyen kritik unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yol etkileri, hava koşulları ve sinyal yayılımı gibi çevresel faktörler, veri iletiminde gürültü ve bozulmalara neden olabilir, bu da özellikle GPS verilerinde ve diğer hassas telemetri bilgilerinde aksaklıklara yol açabilir. AUS kapsamında, bu tür zorluklar, trafik yönetimi, altyapı izleme ve acil durum tepkileri gibi kritik uygulamalarda veri doğruluğu ve güvenilirliğini tehdit edebilir. Bu nedenle, anten performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, teorik hesaplamaların saha testleri ile doğrulanması ve sistemin farklı irtifa ve koşullarda kesintisiz çalışmasını sağlamak için gerekli optimizasyonların yapılması büyük önem taşımaktadır. Yapılan hesaplamalar ve testler, kullanılan E-BYTE modüllerinin ve antenlerin, -147 dBm'den daha yüksek bir sinyal seviyesine sahip olduklarında sorunsuz iletişim sağlayabileceklerini göstermektedir.

### 3. Uçuş Yazılımı ve Yer İstasyonu Yazılımı

Uçuş sırasında her saniye telemetri verileri sensörler aracılığıyla toplanmıştır. Bu veriler fiziksel değerlere dönüştürülmüştür. Canlı görüntü aktarımı başlatılmış ve model uydusu, görev süresi boyunca video görüntüsünü yer istasyonuna göndermiştir. Canlı görüntü aktarımı gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve yer istasyonuna kaydedilmiştir. Uçuş yazılımı, gönderilen paketler muhafaza edilmiş, yeniden başlatılmaya dayanıklı olacak şekilde tasarlanmış ve olası bir arıza durumunda veriler geri yüklenip kaldığı yerden devam edilmiştir. 400 metre yükseklikte, taşıyıcı ve görev yükü bir mekanizma ile otonom olarak ayrılmıştır. Olağanüstü bir durumda, yer istasyonundan model uydusu ayırma butonu aktifleştirilmiştir. Telemetri verilerinin zamana bağlı grafikleri yer istasyonuna gerçek zamanlı olarak çizilmiştir. Bu sürecin ardından kurtarma sinyali gönderilmiştir. Model uydusu, kurtarma ekibi tarafından bulununcaya kadar kurtarma ikazı vermeye devam etmiştir. Şekil 9 görev anında gerçekleşen temel uçuş yazılım mimarisini göstermektedir.



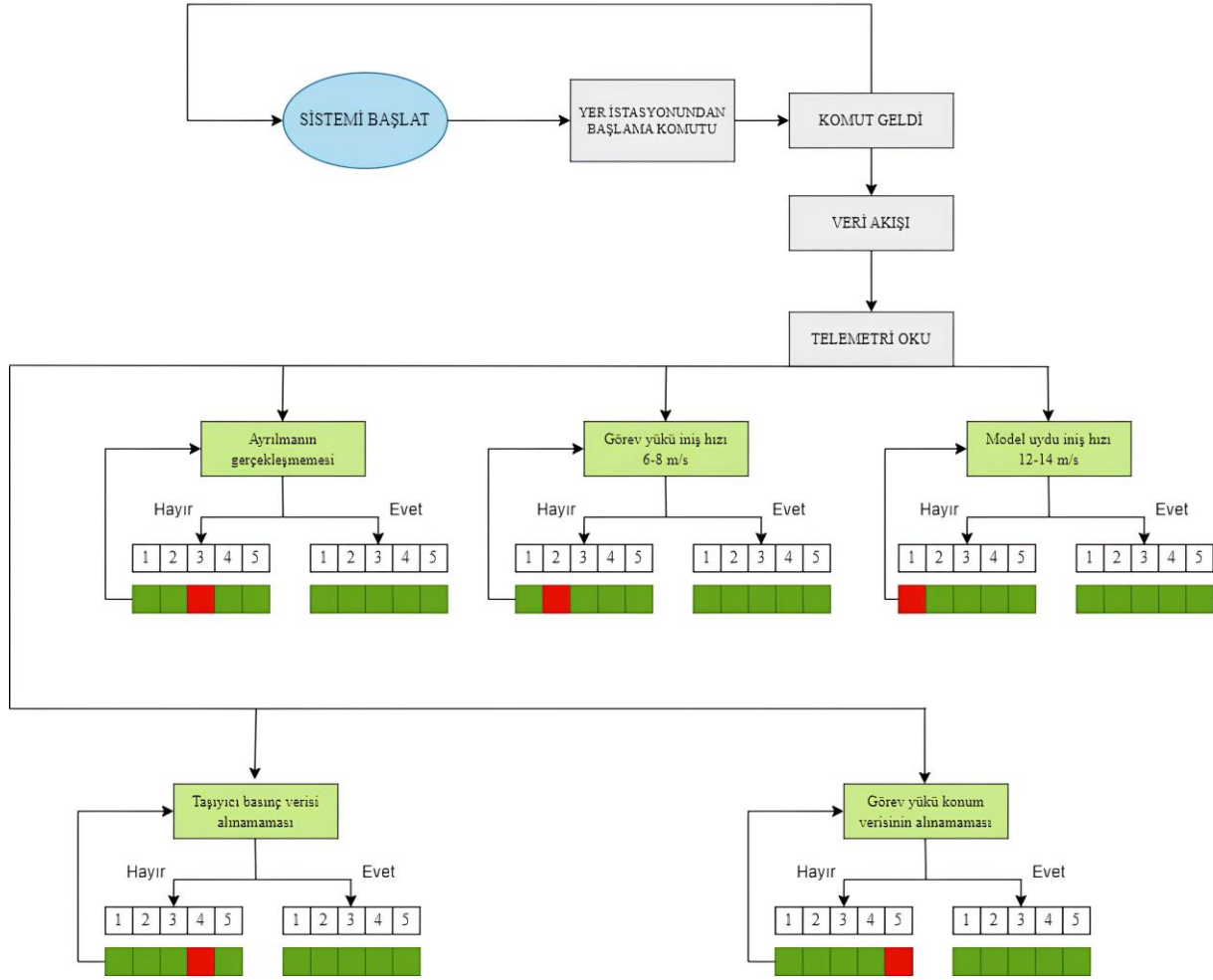
**Şekil.9** Temel Uçuş Yazılımı Mimarisi.

Model uydu, havadan alınan telemetri verilerini özgün olarak tasarlanmış yer istasyonunda kontrol edebilmektedir. Uydu ve yer istasyonu arasındaki haberleşme, E-BYTE E32 433T30D modülü ve 433 MHz Yagi anten kullanılarak sağlanmaktadır. Bu sistem, düşük enerji tüketimi ile 8 kilometreye kadar kablosuz haberleşme imkânı sunmaktadır. Yer istasyonu yazılımı, Visual Studio platformunda C++ ve C# programlama dilleri kullanılarak tasarlanmıştır. Veriler hem sayısal hem de grafiksel olarak sunulmuştur. Arayüz geliştirilirken AForge, Gmap ve OpenTK kütüphaneleri kullanılmıştır. Gerekli kodlamalar ile veriler, tasarlanan arayüze aktarılmaktadır. Gmap kütüphanesi kullanılarak, görev yükü ve taşıyıcının konumu tek bir telemetri paketi içinde görüntülenmektedir. Seri porttan okunan veriler, Visual Studio’da bulunan grafiklere aktarılacak için Chart bileşeni kullanılmış, gyro simülasyonu için ise glControl nesnesi tercih edilmiştir. Veri akışı, saniyede bir tekrarlanmakta ve aynı zamanda SD kart modülüne anlık olarak kaydedilmektedir. Uydunun konumu, gerçek zamanlı olarak yer istasyonunda görülebilmektedir. 1 Hz frekansında alınan telemetri verileri, yer istasyonunda canlı olarak görüntülenmekte ve alınan her yeni paketle bilgiler güncellenmektedir. Bu sayede, veriler kayıpsız bir şekilde saklanmaktadır. Yer istasyonu yazılımında bulunan ayrılma butonu sayesinde, havada bulunan uydu üzerinde mekanik veya yazılımsal bir aksaklık meydana geldiğinde, taşıyıcı ve görev yükü manuel olarak ayrılabilir. Bu sistem sayesinde, çift yönlü haberleşme hatasız bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 3.1. Arayüz Alarm Sistemi

Bu çalışma, uydu tabanlı bir izleme ve kontrol sisteminin, Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisi ve RF haberleşme modülleri kullanılarak nasıl inşa edildiğini ve bu sistemin nasıl işlediğini ele almaktadır. Sistem, uydunun çeşitli alt sistemlerinden gelen verileri toplamak, işlemek ve analiz etmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, anormal durumların tespiti durumunda, yer istasyonuna gerekli alarm ve uyarıları iletmektedir. Sensörler, uydunun hız, basınç, sıcaklık, konum gibi kritik parametrelerini sürekli olarak izlemektedir. Bu sensörlerden elde edilen veriler, sistemin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlar.

Raspberry Pi Pico, sensörlerden gelen ham verileri alır ve bunları işlemektedir. Mikrodenetleyici, verilerin belirli aralıklarda olup olmadığını kontrol eder ve bu aralıkların dışına çıkan veriler için alarm durumları tanımlar. Örneğin, hız verisinin beklenen sınırların dışına çıkması durumunda veya basınç ya da konum verilerinin alınmaması durumunda, mikrodenetleyici bir hata durumu algılar ve bu durumu bir alarm olarak işaretler. Şekil 10’da arayüz alarm sistemi şematik olarak belirtilmiştir.



Şekil 10. Alarm arayüzü.

Mikrodenetleyici tarafından işlenen ve analiz edilen veriler, RF haberleşme modülleri aracılığıyla yer istasyonuna iletilir. Bu modüller, düşük güç tüketimi ve uzun menzil özellikleriyle öne çıkmaktadır. RF modülü, yer istasyonuna gönderilecek verileri şifreleyerek güvenli bir veri iletimi sağlar. Şekil 12’de gösterildiği gibi yer istasyonuna gönderilen veriler, sistemin genel durumunu ve olası sorunları belirlemede kullanılır. Sistemin veri işleme aşaması, toplanan sensör verilerinin belirli algoritmalar aracılığıyla analiz edilmesini içerir. Mikrodenetleyici, önceden belirlenmiş sınır değerlerine göre verileri sürekli olarak değerlendirir. Örneğin, hız verisinin belirli bir aralığın dışına çıkması durumunda, mikrodenetleyici bu durumu bir alarm olarak kaydeder. Aynı şekilde, basınç veya konum verisinin sensörlerden alınmaması durumunda da bir hata durumu oluşur ve bu durum da alarm sistemine kaydedilir. Alarm durumunda, RF haberleşme modülü aracılığıyla yer istasyonuna acil durum sinyali gönderilir. Yer istasyonunda bu sinyal, bir dizi görsel ve sesli ikaz ile operatörlere bildirilir. Bu ikazlar, operatörlerin sistemde meydana gelen sorunları hızlı bir şekilde tanımlamalarını ve çözümlenmelerini sağlar. Alarm durumlarının yanı sıra, sistemdeki tüm veriler ve olaylar SD kart üzerinde saklanır. Bu kayıtlar, gelecekte yapılacak analizler ve raporlamalar için önemlidir. Bu veriler, uydu operasyonları sırasında karşılaşılan sorunların anlaşılmasını ve gelecekteki operasyonlar için daha güvenilir sistemler geliştirilmesini mümkün kılar.

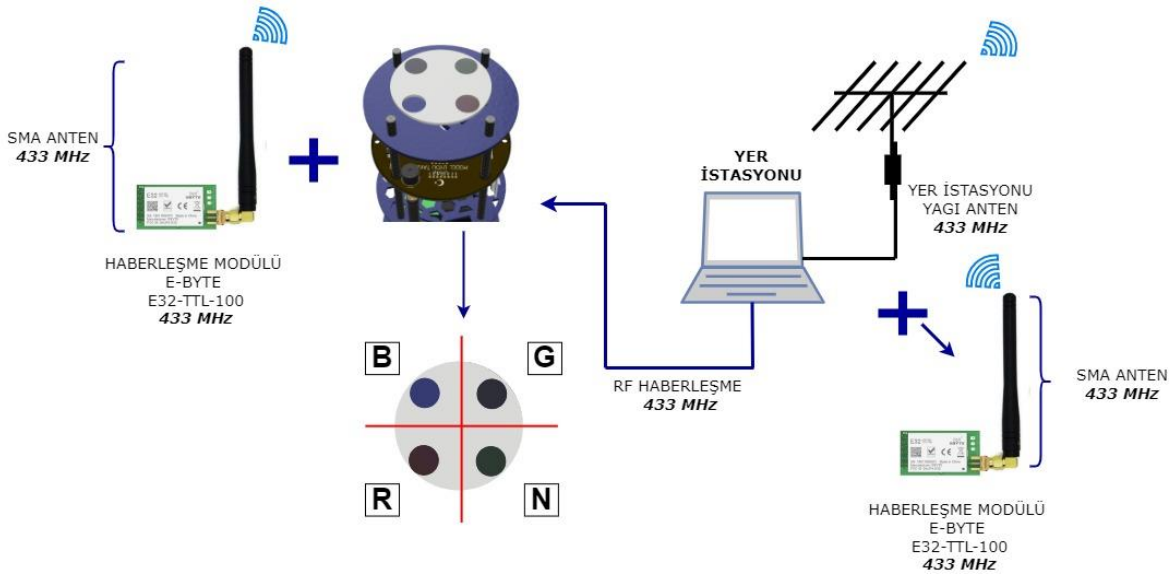
Bu tür izleme ve kontrol sistemleri, AUS için de büyük önem taşımaktadır. AUS kapsamında kullanılan araçlar ve altyapılar, benzer sensörler ve izleme sistemleri ile donatılarak trafik yönetimi, yol güvenliği ve acil durum müdahalesi gibi alanlarda önemli avantajlar sunabilir. Özellikle gerçek zamanlı veri işleme ve alarm sistemleri, AUS’un kesintisiz ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu bağlamda, uydu tabanlı sistemlerin AUS ile entegre edilmesi, geniş alanlardaki trafik ve altyapı izleme kapasitesini

artırarak, daha verimli ve güvenli bir ulaşım ağı oluşturulmasına katkıda bulunabilir. Bu çalışma, uydu tabanlı bir izleme ve kontrol sisteminin inşasında, Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisi ve RF haberleşme modüllerinin nasıl kullanıldığını detaylı bir şekilde ele alırken, bu sistemin işleyişine de odaklanmaktadır.

### 3.2. Mekanik Filtreleme Modülü

Görev yükü taşıyıcı parçasından ayrıldıktan sonra, LoRa haberleşme modülleri kullanılarak arayüzden gönderilen belirli komutlar ile mekanik filtreleme modülü aktif hale getirilir. Şekil 13'te gösterilen senaryodan örnek alınarak, '6G4R' gibi bir komut gönderildiğinde, sistem farklı bir renk skalasına geçer.

Her bir komut, sistemdeki disk üzerinde servo motor aracılığıyla 90°'lik bir dönüş hareketi sağlar. Bu hareket, toplamda 10 saniye süresince gerçekleştirilir ve kamera görüntüsünde renk değişimlerinin (kırmızı, yeşil ve mavi) gözlemlenmesine olanak tanır. Komutların doğru bir şekilde gönderilip gönderilmediği LoRa modülleri aracılığıyla kontrol edilir. LoRa teknolojisi, uzun menzilli ve düşük güç tüketimli iletişim sağladığından, bu süreçte güvenilir veri iletimi için ideal bir çözümdür. Sistem uydu haberleşmesinde karşı yönlü kontrol sağlar. Görev yükü taşıyıcı parçasının başarıyla ayrılmasının ardından, yer istasyonunda bulunan operatör, ara yüz üzerinden mekanik filtreleme modülünü aktifleştirmek üzere belirli bir komut gönderir. Bu senaryoda, operatör 4B6G komutunu kullanarak sistemi yönetir. Şekil 11'de mekanik filtreleme modülü haberleşme şeması belirtilmiştir.



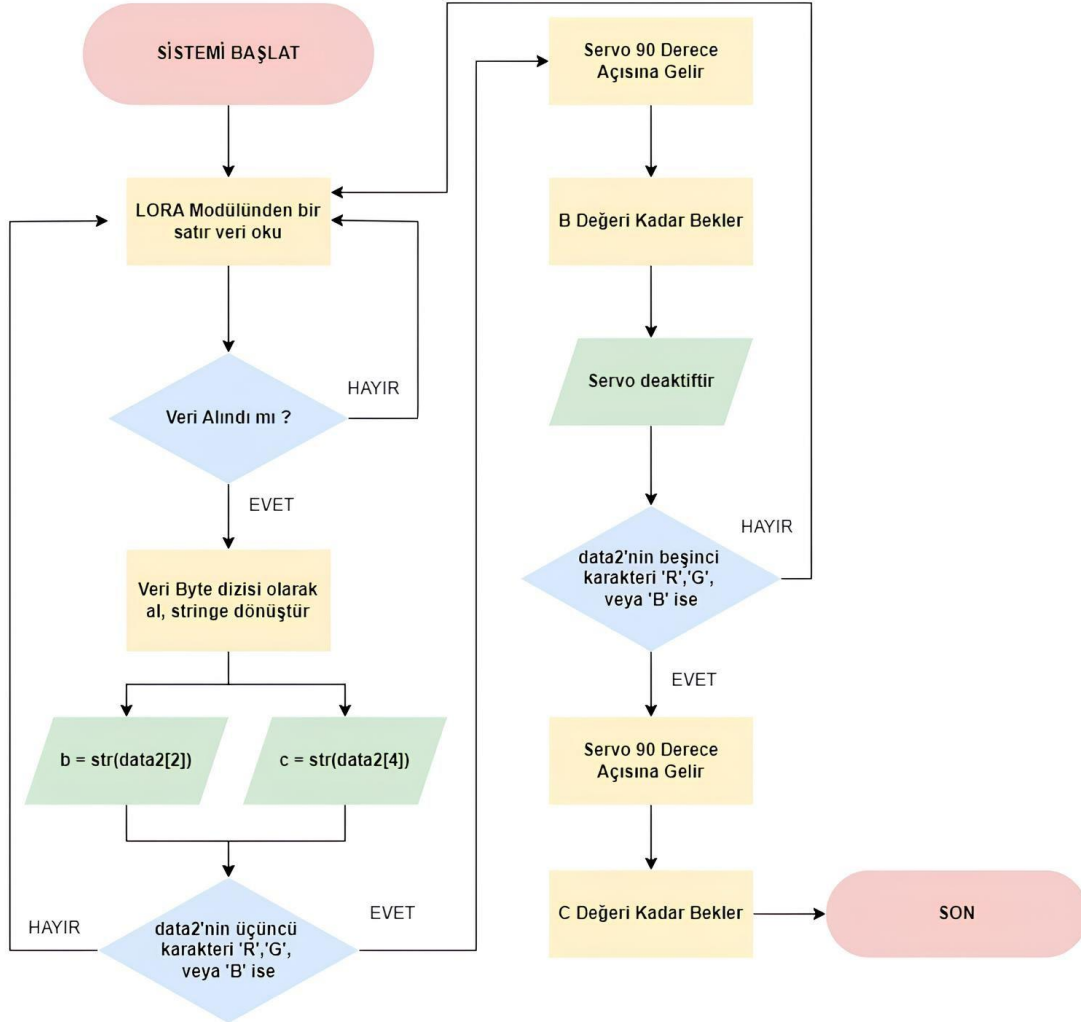
Şekil 11. Mekanik filtreleme modülü.

1. **Komut Gönderimi:** Operatör, arayüz üzerinden 4B6G komutunu gönderir. Bu komut, sistemin önce 4 saniye boyunca mavi renk filtresi, ardından 6 saniye boyunca yeşil renk filtresi ile görüntü vermesi gerektiğini belirtir.
2. **Komutun Alınması ve İşlenmesi:** Uçuş yazılımı, gönderilen komutu alır ve işleme başlar. İlk olarak, mavi renk filtresi için gereken ayarlamaları yapar ve görüntünün 4 saniye boyunca mavi renk filtresinden geçmesini sağlar.
3. **Mavi Renk Filtresinin Uygulanması:** Filtreleme disk, servo motor tarafından kontrol edilerek mavi renk filtresi konumuna getirilir. Servo motor, çarklı sistem üzerinden 90 derece dönerek mavi renk filtresinin aktif olduğu konuma getirilir. Bu pozisyonda, görüntü 4 saniye boyunca mavi renk filtresinden geçer.
4. **İkinci Komutun İşlenmesi:** Yazılım, ikinci komut olan yeşil renk filtresine geçiş için gereken ayarlamaları yapar ve görüntünün 6 saniye boyunca yeşil renk filtresinden geçmesini sağlar.
5. **Yeşil Renk Filtresinin Uygulanması:** Filtreleme disk, servo motor tarafından kontrol edilerek yeşil renk filtresi konumuna getirilir. Servo motor tekrar 90 derece dönerek yeşil renk filtresinin

aktif olduğu konuma getirilir. Bu pozisyonda, görüntü 6 saniye boyunca yeşil renk filtresinden geçer.

- Görev Tamamlanması:** Toplamda 10 saniye süren bu operasyon sonucunda, kamera görüntüsünde önce 4 saniye mavi, ardından 6 saniye yeşil renk filtresi başarıyla uygulanmış olur. Operatör, ara yüz üzerinden bu renk değişimlerini doğrular ve görev tamamlanmış olur.

Şekil 12’de mekanik filtreleme modülü yazılım akış şeması belirtilmiştir.



Şekil 12. Mekanik filtreleme modülü yazılım akış şeması.

Bununla birlikte, mekanik filtreleme modülü gibi bileşenler de bu tür sistemlerin işlevselliğini artırır. Mekanik filtreleme modülü, belirli komutlar doğrultusunda görüntülerin farklı renk filtreleriyle işlenmesini sağlar. Örneğin, bir görev sırasında, operatörün gönderdiği komutlar doğrultusunda görüntüler mavi ve yeşil renk filtreleriyle işlenebilir. Bu tür bir modül, LoRa ve RF haberleşme teknolojileri ile entegre edildiğinde, uzak mesafelerdeki cihazların yönetimini ve kontrolünü kolaylaştırır. Operatörler, uzaktaki cihazları sorunsuz bir şekilde kontrol edebilir, görev süreçlerini anında izleyebilir ve gerektiğinde müdahalelerde bulunabilir. Bu, AUS kapsamında araçlar ve altyapılar arasında kesintisiz ve güvenli bir iletişim ağı oluşturulmasına katkıda bulunur. Böylece, AUS sistemlerinde operasyonel verimlilik, veri doğruluğu ve güvenlik seviyeleri yükseltilir.

### 3.3. Yer İstasyonu Tasarımı

Tablo 8’de verilen tüm veriler taşıyıcıdan görev yüküne, görev yükü aviyonik sistemi aracılığı ile paketler halinde yer istasyonuna aktarılmaktadır.

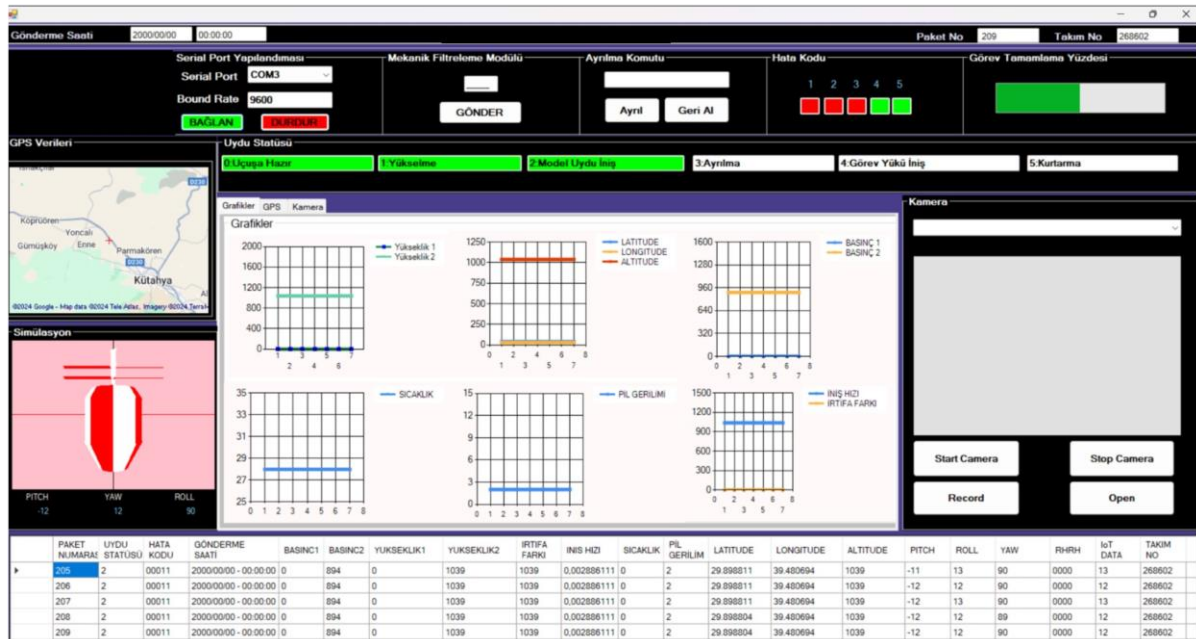
Haberleşme sisteminde paketlenen telemetri verilerinin toplam veri boyutu 86 Byte olup, kullanılan araç boyutu 22 Byte'dir. Bu şekilde oluşturulan toplam paket boyutu ise 108 Byte olarak belirlenmiştir. Telemetri verileri paketler halinde iletilmiştir ve bu paket sayısı yer istasyonundan her sn kontrol edilebilir. Herhangi bir güç kesintisinde dahi paket numaralarında herhangi bir kayıp meydana gelmemiştir. Tablo 13'de telemetri verileri belirtilmiştir.

Örnek Telemetri Paketi: 13,1,10010, 21/04/2024, 14/28/56, 1156, 1156, 40, 40, 30, 12, 23, 9, 44.896, 56.445, 54.865, 10, -36, -50, 6G4R, 23, 48.56, 268602'dir.

**Tablo 13. Telemetri Verileri**

Telemetri Verileri			
Boyut	Veri Formatı	Boyut	Veri Formatı
2	< Paket Numarası >	4	< İvme >
19	< Gönderme Saati >	2	< Nem >
4	< Basınç1 >	6	< GPS1 LATITUDE >
4	< Basınç2 >	6	< GPS1 LONGITUDE >
3	< Yükseklik1 >	6	< GPS1 ALTITUDE >
3	< Yükseklik2 >	2	< PITCH >
4	< İrtifa Farkı >	2	< ROLL >
1	< İniş Hızı >	2	< YAW >
2	< Sıcaklık >	2	< SICAKLIK >

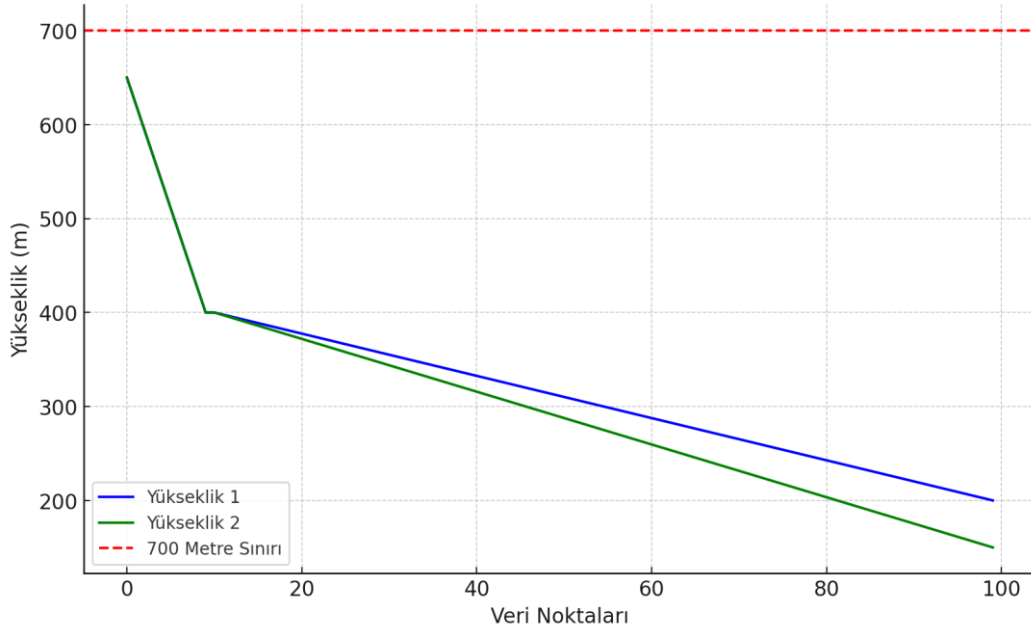
Telemetri verileri paketlenip ASCII formatında yer istasyonu bilgisayarına gönderilir. 1 byte = 8 bit olduğundan, toplam paket boyutu 108 Byte (864 bit) olarak hesaplanmıştır. Telemetri verileri, paketler halinde ASCII formatında yer istasyonu bilgisayarına iletilmekte ve burada grafiksel olarak işlenip analiz edilmektedir. Arayüz, GPS verilerini kullanarak uydu konumunu izlerken, gyro sensörlerinden elde edilen veriler ile görev yükünün doğru konumlandırılması ve kontrol edilmesi mümkün hale gelir. Ayrıca, sistem, çift yönlü ve üçlü haberleşme kontrolü ile telemetri verilerinin güvenilir bir şekilde iletilmesini ve herhangi bir kesinti durumunda veri kaybının önlenmesini sağlar. Şekil 13'te özgün tasarıma sahip yer istasyonu arayüzü gösterilmiştir.



**Şekil 13. Yer istasyonu arayüzü.**



Bu kapsamda, yer istasyonuna gönderilen telemetri verileri ve arayüz, AUS için de büyük potansiyele sahiptir. Örneğin, araçların anlık seyir halinde iken GPS ve diğer sensör verilerinin izlenmesi, araç konumunun ve hareketinin hassas bir şekilde kontrol edilmesine olanak tanır. Böylece, AUS kapsamında araçların ve altyapının anlık yönetimi sağlanarak, trafik güvenliği artırılabilir ve sistem verimliliği optimize edilebilir. Yer istasyonunda gerçek zamanlı olarak grafik haline getirilen ve analiz edilen bu veriler, operatörlerin hızlı ve doğru kararlar almasına yardımcı olur. Yer istasyonunda gösterilmiş olan bazı telemetri verileri Şekil 14 ve Şekil 15'te gösterilmiştir.



**Şekil 14.** Yükseklik eğrisi grafiği.

Şekil 15'deki grafikte, "Yükseklik 1" ve "Yükseklik 2" verileri zaman içindeki değişimlerine göre karşılaştırılmıştır. Grafikte y ekseninde, ekseninde metre cinsinden altimetre verisi olan yüksekliği göstermektedir. Model uydunun iniş süresince gerçekleşen görevlerin, yazılımsal olarak hazırlanmış algoritmaya uyum sağlaması gerekmektedir. Bunu kontrol altında bulundurmak ve denetlemek için barometrik basınç sensörümüzden alınan altimetre verisi olan yükseklik değerleri elde edilmiş ve incelenmiştir. Bunun yanı sıra x veri noktaları (zaman veya ölçüm sayısı olarak düşünülebilir) temsil etmektedir. Veri noktaları temel alınmış belirli zaman aralıklarını içermektedir.

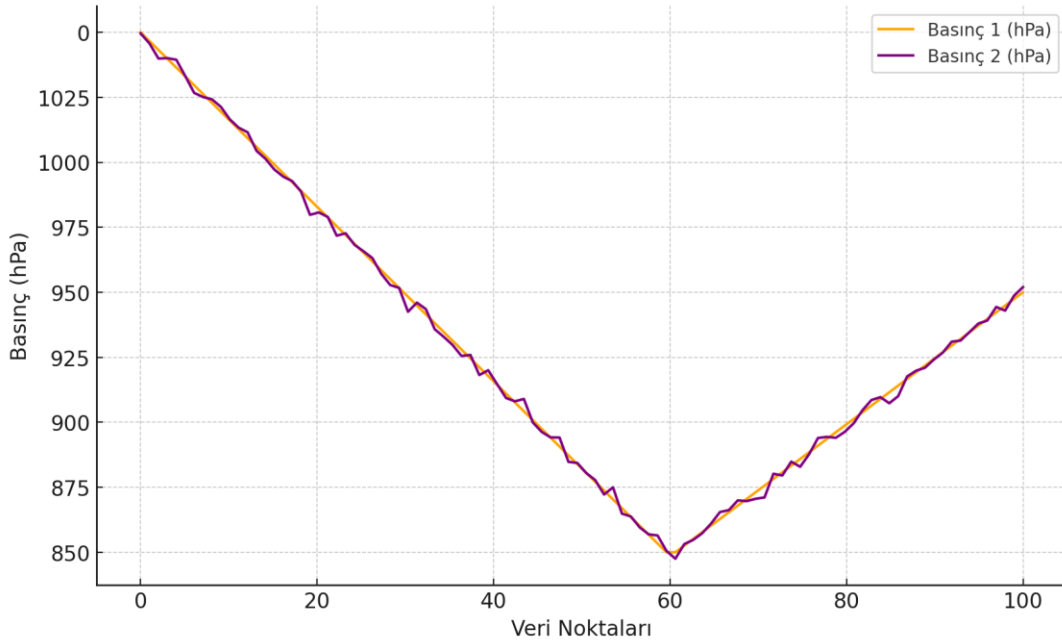
Bu grafikte, Yükseklik 1 ve Yükseklik 2 adlı iki farklı yükseklik değerinin zaman içinde nasıl değiştiğini gözlemlemekteyiz. Roket ile 650 metre civarı yüksekliğe çıkış yapan model uydunun her iki yükseklik verisi de aynı seviyeden, yani 650 metreden inişe başlamaktadırlar. İlk 10 veri noktası boyunca, Yükseklik 1 ve Yükseklik 2 senkronize bir şekilde birlikte azalarak 400 metre seviyesine kadar inmektedir. Bu birlikte iniş, her iki sistemin başlangıçta senkronize ve istikrarlı bir iniş gösterdiğini işaret etmektedir. 400 metre seviyesine ulaştıktan sonra, Yükseklik 1 ve Yükseklik 2 farklı hızlarla inişlerini sürdürmektedirler. Yükseklik 1, daha yavaş bir hızla azalmaya devam ederken, Yükseklik 2 daha hızlı bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu farklı iniş hızları, iki sistemin birbirinden bağımsız olarak davranmaya başladığını ve iniş hızlarında farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Grafikte ayrıca, her iki yükseklik değerinin de 700 metre sınırının altında kaldığını görüyoruz. Bu, sistemin operasyonel sınırlarına uygun çalıştığını ve güvenli bir aralıkta hareket ettiğini göstermektedir. Genel olarak bu grafik, başlangıçta birlikte hareket eden iki sistemin, iniş sırasında farklılaşmaya başladığını ve farklı hızlarda irtifa kaybı yaşadıklarını ortaya koymaktadır.

Şekil 17'de sunulan basınç verileri, yer istasyonuna iletilen atmosferik ölçümler üzerinde yapılmış detaylı bir analizi göstermektedir. Bu analiz, model uydunun uçuş süresi boyunca çevresel koşulları doğru bir şekilde algıladığını ve bu verileri yer istasyonuna güvenilir bir şekilde aktardığını açıkça ortaya



koymaktadır. Basınç verileri başlangıç seviyesinden başlatılmış olup ilk 60 veri noktasında yani 650 m irtifaya ulaşıldığında basınç değerlerinin düzenli bir şekilde düşmesi, uydunun yüksek irtifaya çıktığını ve bu süreçte atmosferik basıncın azaldığını göstermektedir. 60. noktadan sonra ise basıncın artması, uydunun inişe geçtiğini ve irtifa azaldıkça atmosferik basıncın tekrar yükseldiğini doğrular niteliktedir. Bu grafik, model uydunun planlanan uçuş profiline uygun olarak hareket ettiğini, çevresel değişimlere duyarlılığını koruduğunu ve görev süresi boyunca güvenilir veri iletimi sağladığını göstermektedir. Şekil 16, bu tür verilerin zaman içerisindeki atmosferik değişimleri izlemek ve analiz etmek için ne kadar önemli olduğunu vurgulamakta olup, özellikle meteorolojik araştırmalar ve uçuş güvenliği çalışmaları açısından büyük bir değer taşımaktadır.



Şekil 15. Basınç değerleri grafiği.

#### 4. Sonuç

Ülkemizde Trafik Yönetim Merkezleri gibi AUS altyapısında bulunan çok sayıda sistem ve sensörün iletişimi karasal kablolu iletişim sistemleri ile sağlanmaktadır. İnsan ve doğa kaynaklı afetler neticesinde kablolu iletişim sistemlerinin fiziki zarar görme riskleri vardır ve bu durum iletişim kesintilerine neden olabilir. LoRa teknolojisi tabanlı uydu iletişim sistemleri, afet sonrasında kritik müdahalelerde etkin yönetim sağlamak ve kesintilere karşı yedek çözüm sunmak amacıyla kullanılabilir. LoRa tabanlı uydu iletişim sistemleri AUS alanında oldukça önemli diğer uygulama potansiyellerine de sahiptir. LoRa tabanlı haberleşme modülleri ve gerçek zamanlı veri izleme yetenekleri, araçların ve altyapının anlık izlenmesini ve yönetilmesini mümkün kılar. Bu sistem, trafik yönetimi, acil müdahale ve altyapı izleme gibi kritik alanlarda veri bütünlüğü ve iletişim güvenilirliğini artırabilir. Ayrıca, sensörlerden alınan verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlayarak AUS'un etkinliğini ve operasyonel verimliliğini önemli ölçüde geliştirebilir. Özellikle geniş alanlarda kullanılan bu teknolojiler, AUS kapsamında araçların seyir halindeyken kesintisiz iletişim kurmasına olanak tanır, bu durum yol güvenliği ve trafik akışının optimize edilmesine katkı sağlar.

Bu çalışmada, saha testleri yapılan model uydu, belirli verileri analiz edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Aviyonik sistemlerden alınan tüm veriler, yer istasyonunda geliştirilen özel arayüz üzerinden okunarak toplanmıştır. Sıcaklık, nem ve basınç gibi parametreler, atmosferik koşulları izlemek amacıyla kullanılmış ve bu veriler meteorolojik değerlendirmelerde önemli rol oynamıştır. Görev yükü ile taşıyıcı, 700-600 metre irtifada bırakıldıktan sonra, 400 metre yükseklikte birbirinden ayrılarak pasif iniş sistemleri (paraşüt) sayesinde güvenli bir iniş gerçekleştirmiştir. Taşıyıcı aviyonik sistemi, görev yükü aviyonik sistemiyle entegre olarak çalışmakta ve GPS (konum), sıcaklık, nem ve basınç verilerini,

LoRa SX 1278 E32 433T30D haberleşme modülü aracılığıyla görev yüküne aktarmıştır. Toplanan tüm veriler, Raspberry Pi Pico mikrodenetleyicisinde işlendikten sonra, LoRa SX 1278 E32 433T30D haberleşme modülü üzerinden yer istasyonuna başarıyla iletilmiştir. Ayrıca, sistem gerçek zamanlı görüntü aktarımı ve video kaydı da gerçekleştirebilmektedir.

Yer istasyonundaki alıcı modül, bu verileri toplayarak arayüze aktarmaktadır. Tasarlanan arayüz, alarm sistemiyle birlikte, alınan verilerin doğruluğunu anında kontrol eder ve tamamlanmamış görevleri tespit ederek kurtarma sürecini başlatabilir.

Mekanik filtreleme modülü, belirlenen komutlarla çift yönlü haberleşme sistemini yönetmektedir. Görev yükü ve taşıyıcı görevlerini tamamladıktan sonra, taşıyıcı üzerinde bulunan GPS verileri, görev yüküne aktarılmıştır ve yer istasyonu arayüzü üzerinden bu veriler analiz edilerek konum tespiti yapılmıştır. Görev yükü ve taşıyıcıdan ses sinyalleri gönderilmesi için kurulan buzzer donanımı, uydunun konum tespiti zorlu görüş koşullarında tespite uygun hale getirmiş ve kurtarma işlemini hızlandırmıştır.

Sonuç olarak, 700-600 metre aralığında irtifa ve 3.000 menzile kadar gerçekleştirilen saha testleri ile gerçekleştirilen LoRa teknolojisi ile donatılan düşük maliyetli bir uydu, mümkün olan en düşük enerji tüketimi ile en uzun hizmet süresini sağlayabilir. Bu bağlamda, LoRa tabanlı uydu iletişim sistemlerinin afet sonrasında kesintisiz veri iletişimi sağlama ve AUS altyapısında yedek çözümler sunma potansiyeli oldukça değerlidir. Bu sistemler, insan ve doğa kaynaklı afetler neticesinde zarar görebilecek karasal kablolu iletişim sistemlerinin yerini alarak veri bütünlüğü ve iletişim güvenilirliğini artırabilir. Gelecekteki AUS çalışmaları, veri güvenliği, ölçeklenebilirlik ve sensörlerin veri doğruluğunu sağlayan bu sistemlerle, operasyonel verimliliklerini artırabilir ve geniş alanlarda araçların kesintisiz iletişim kurmasını sağlayabilir.

Özellikle, LoRa tabanlı uydu sistemlerinin AUS'a entegrasyonu, gerçek zamanlı veri izleme yetenekleriyle trafik yönetimi, acil müdahale ve altyapı izleme gibi kritik alanlarda güvenilirliği artırabilir. Geniş alanlarda sensörlerden alınan verilerin doğruluğu, AUS'un verimliliğini büyük ölçüde geliştirebilir ve bu sistemlerin entegre edilmesiyle, AUS'un daha uzun vadeli etkileri ve uygulama potansiyeli daha net ortaya çıkacaktır.

Son olarak, gelecekteki araştırmalarda, LoRa tabanlı teknolojilerin veri güvenliği ve yeni nesil AUS projelerine adaptasyonu konularına odaklanması, araştırma sonuçlarının uzun vadeli etkilerini güçlendirecek ve diğer araştırmacılar için yol gösterici olacaktır.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

İlgili çalışma, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 2024 -32 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

### **Kaynakça**

**Aksoy, S., Bolat, M., & Alp, E.** (2017). Noaa/Avhrr Uydusu Meteorolojik Veriler Kullanılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Yer Yüzey Sıcaklığının En Küçük Kare Hatası Metodu ile Hesaplanması. Siirt Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği.

**Anadolu Ajansı.** (2021). Kuzey Marmara Otoyolu ve TÜBİTAK'tan fiber optik tabanlı akıllı ulaşım sistemi. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/kuzey-marmara-otoyolu-ve-tubitaktan-fiber-optik-tabanlı-akilli-ulasim-sistemi/2386673>

**Başarslan, M. S., Kayaalp, F., & Çelik, F.** (2016). Kısa Mesafe RF Algılayıcı ile Telemetri Uygulaması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 727-733.

**Bianco, G. M., Giuliano, R., Marrocco, G., Mazzenga, F., & Mejia-Aguilar, A.** (2021). LoRa System for Search and Rescue: Path-Loss Models and Procedures in Mountain Scenarios. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(3), 1985-1999. [IEEE Internet of Things Journal. https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3017044](https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3017044)

**Bor, M. C., Vidler, J., & Roedig, U.** (2016). LoRa for the Internet of Things. *EWSN 2016 Proceedings*, 16, 361-368

**Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M.** (2016). Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67.

**El Chall, R., Lahoud, S., & El Helou, M.** (2019). LoRaWAN network: Radio propagation models and performance evaluation in various environments in Lebanon. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 2366-2378.

**Erkan, E., Fidan, Ş., & Oğraş, H.** (2022). LoRa Modülasyon Tabanlı Saha Aydınlatma Sistemi Uygulaması. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 10(2), 203-215.

**Goulart, A., Chennamaneni, A., Torre, D., Hur, B., & Al-Aboosi, F.** (2022). On wide-area IoT networks, lightweight security and their applications—a practical review. *Electronics*, 11(11), 1762.

**Karapınar, K., & Kaya, E.** (2016). Gömülü Sistemlerin Seri Haberleşmesi. Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü.

**Manzoni, P., Calafate, C., Cano, J., & Hernández-Orallo, E.** (2019). Indoor vehicles geolocalization using LoRaWAN. *Future Internet*, 11(6), 124.

**Otopratik.** (2024). Akıllı Ulaşım Sistemleri [Görsel]. Alındığı URL: <https://www.otopratik.com.tr/faydali-bilgiler/arac-bakimi/akilli-ulasim-sistemleri-nedir>.

**Özden, S., & Dursun, M.** (2010). Radyo Frekanslı ile Düşük Maliyetli Su Seviyesi Kontrolü. *Politeknik Dergisi*, 13(4), 313-317.

**Qadir, Q., Rashid, T., Al-Salihi, N., Ismael, B., Kist, A., & Zhang, Z.** (2018). Low power wide area networks: A survey of enabling technologies, applications and interoperability needs. *IEEE Access*, 6, 77454-77473.

**Reyneke, M., Mullins, B., & Reith, M.** (2023). LoRaWAN & the helium blockchain: A study on military IoT deployment. *International Conference on Cyber Warfare and Security*, 18(1), 327-337.

**Şentürk, Ş., & Fındık, Z.** (2019). İki Tekerlekli Denge Robotu. Karabük Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü.

**Topcu, M.** (2017). Türkiye Uydu haberleşme sistemlerindeki gelişmeler ve GPS uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

**Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2023). Faaliyet Raporu. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/MerkezBirimler/Kurumsal/FaaliyetRaporu/2023Faaliyet.pdf>

**Wiyadi, E.** (2020). Effect of Vegetation Profile and Air Data Rate on Packet Loss Performance of LoRa E32-30dBm 433 MHz as a Wireless Data Transmission. *Riau: Journal of Physics: Conference Series*.

**Xiao, F., Kuang, W., Dong, H., & Wang, Y.** (2022). Backscatter-assisted collision-resilient LoRa transmission. *Sensors*, 22(12), 4471.

**Yasintimur, S., & Tavas, V.** (2021). NB-IoT ve LoRa Haberleşme Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Performans Analizi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(40), 297-313.

**You, I., Kwon, S., Choudhary, G., Sharma, V., & Seo, J.** (2018). An enhanced LoRaWAN security protocol for privacy preservation in IoT with a case study on a smart factory-enabled parking system. *Sensors*, 18(6), 1888.

**Jones, D.** (2005, September 1). Propagation models. Harvard University. Retrieved from [https://web.archive.org/web/20050901001655/http://people.deas.harvard.edu/~jones/es151/prop\\_models/propagation.html](https://web.archive.org/web/20050901001655/http://people.deas.harvard.edu/~jones/es151/prop_models/propagation.html)

## Araştırma Makalesi

### Toplu Ulaşım Sisteminde Sürücü Tanıma Sistemi:Türkiye Taksi Örneği

Bilal Kartal<sup>1</sup>, Mehmet Tektaş<sup>2</sup>, Necla Tektaş<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

<sup>2</sup>Ulaştırma Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

<sup>3</sup>Ekonometri, İktisadi ve İdari bilimler Fakültesi, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

\*Correspondence: [ntektas@bandirma.edu.tr](mailto:ntektas@bandirma.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1550015

**Özet:** Kentsel alanlarda, özellikle büyük metropollerde, toplu ulaşım sistemleri sürdürülebilir kentsel gelişimin ve yaşam kalitesinin temel bileşenlerinden biridir. Dijital çağın getirdiği teknolojik ilerlemeler, bu sistemlerin etkinliğini ve verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), kentsel ulaşım ağlarının optimizasyonunda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Toplu ulaşımın çeşitli modları arasında, taksiler özellikle kısa mesafeli, kapıdan kapıya ve bireyselleştirilmiş seyahat talepleri açısından önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Ancak, birçok büyük şehirde taksi hizmetleriyle ilgili çeşitli sorunlar gözlemlenmektedir. Bu sorunlar arasında güvenlik endişeleri, ödeme anlaşmazlıkları ve hizmet kalitesiyle ilgili şikayetler ön plana çıkmaktadır. Sistem tasarımı, fiziksel testlerle doğrulanmış ve bir yüksek lisans tezi kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Geliştirilen sürücü tanıma sistemi, Türkiye'de ilk olma özelliğini taşımakla birlikte, global ölçekte de benzersiz özelliklere sahiptir. Sistemin temel hedefleri arasında sürücü güvenliğinin artırılması, yolcu-sürücü anlaşmazlıklarının minimize edilmesi ve taksi hizmet kalitesinin yükseltilmesi yer almaktadır. Bu amaçlara ulaşmak için, sistem içerisinde acil durum bildirimi, taksi durumunun (boş/dolu/rezerve) dinamik gösterimi gibi yenilikçi özellikler yer almaktadır. Önerilen Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Modeli hem akademik literatüre katkı sağlamayı hem de sektörel uygulamalara yol göstermeyi hedefleyerek New York, Londra, Tokyo, Paris ve İstanbul gibi büyük hacimli taksiye sahip metropollerin ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışma, toplu ulaşımında akıllı sistemlerin entegrasyonu konusunda yeni bir perspektif sunmakta ve gelecekteki araştırmalar için verimli bir zemin hazırlamaktadır. Ayrıca, önerilen modelin diğer toplu ulaşım araçlarına uyarlanabilirliği, araştırmanın potansiyel etkisini genişletmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ulaşım sistemleri, toplu ulaşım, sürücü tanıma sistemi, taksi

### Driver Recognition System in Urban Transportation: A Case Study on Taxis

**Abstract:** In urban areas, especially in large metropolises, public transportation systems are one of the fundamental components of sustainable urban development and quality of life. Technological advancements brought by the digital age play a critical role in increasing the effectiveness and efficiency of these systems. In this context, Intelligent Transportation Systems (ITS) are gaining increasing importance in the optimization of urban transportation networks. Among the various modes of public transportation, taxis fill an important gap, particularly in terms of short-distance, door-to-door, and personalized travel demands. However, various problems related to taxi services are observed in many large cities. Among these problems, safety concerns, payment disputes, and complaints about service quality come to the forefront. The system design has been verified through physical tests and examined in detail within the scope of a master's thesis. The developed driver recognition system, while being the first of its kind in Turkey, also possesses unique features on a global scale. The main objectives of the

\* Corresponding author.

E-mail address: [ntektas@bandirma.edu.tr](mailto:ntektas@bandirma.edu.tr)

ORCID: 0000-0003-1457-7815, 0000-0001-9564-8069, 0000-0002-8190-4532

Received 14.09.2024; Received in revised form 17.09.2024; Accepted 08.10.2024

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

system include increasing driver safety, minimizing passenger-driver disputes, and improving taxi service quality. To achieve these goals, the system incorporates innovative features such as emergency notifications and dynamic display of taxi status (vacant/occupied/reserved). The proposed Turkish Taxi Driver Recognition System Model is designed to meet the needs of metropolises with large taxi fleets such as New York, London, Tokyo, Paris, and Istanbul, aiming to contribute to academic literature as well as guide sectoral applications. This study presents a new perspective on the integration of intelligent systems in public transportation and prepares fertile ground for future research. Furthermore, the adaptability of the proposed model to other public transportation vehicles expands the potential impact of the research.

**Keywords:** Intelligent transportation systems, urban transportation, driver recognition system, taxi

\*Bu makale, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı bünyesinde hazırlanan Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

---

\* Corresponding author.

E-mail address: ntektas@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-1457-7815, 0000-0001-9564-8069, 0000-0002-8190-4532

Received 14.09.2024; Received in revised form 17.09.2024; Accepted 08.10.2024

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Giriş

Toplu taşıma, çok sayıda insanın aynı araçları kullanarak seyahat etmesini sağlayan, organize bir ulaşım sistemidir (Vuchic, 2017). Geniş bir coğrafi kapsama alanına sahip olan ve genellikle kamu tarafından işletilen bu sistemler, şehir içi ve şehirlerarası hareketliliği kolaylaştırır. Toplu taşıma sistemleri içerisinde taksi hizmetleri, bireysel taşıma ihtiyaçlarına cevap veren esnek bir ulaşım seçeneği olarak önemli bir rol oynar (Shaheen vd., 2018).

Taksi hizmetleri, bireylere hızlı ve esnek bir ulaşım seçeneği sunar (Cervero ve Murakami, 2020). Acil durumlar, beklenmedik toplantılar veya ani plan değişiklikleri gibi durumlarda, taksi kullanmak bireylerin hedeflerine hızlı bir şekilde ulaşmasını sağlar. Toplu taşıma araçlarının aksine belirli güzergâh ve sefer saatlerine bağlı kalmadıkları için zaman açısından daha verimli bir seçenek oluşturur (Litman, 2021). Bu durum, özellikle gece geç saatlerde veya erken sabah saatlerinde ulaşım ihtiyacı olan bireyler için kritik bir öneme sahiptir. Toplu taşıma seçeneklerinin sınırlı olduğu zaman dilimlerinde taksi, ulaşım sürekliliğini sağlayan önemli bir alternatif sunar. Özellikle büyük şehirlerde, taksi hizmetleri toplu taşıma sisteminin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelir (Rayle vd., 2016).

Taksi hizmetlerine erişim genellikle kolaydır. Bir telefon çağrısı, mobil uygulama veya sokakta taksi bulma gibi yöntemlerle hızlı bir şekilde taksi çağrılabilir (Jin vd., 2019). Uber ve Lyft gibi platformların son yıllarda yaygınlaşması, akıllı telefonlar üzerinden taksi çağırma sürecini kolaylaştırmıştır (Clewlow ve Zhu, 2019). Taksilere kolay erişim, özellikle toplu taşıma duraklarından uzakta ikamet eden veya hareket kabiliyeti kısıtlı bireyler için önemli bir avantajdır, şehir içi ve şehirlerarası geniş bir kapsama alanına da sahiptir (Yang vd., 2018). Bu, hem şehir içinde hem de şehirler arasında seyahat edenler için uygun ve konforlu bir ulaşım seçeneği olup özellikle toplu taşıma ağının yetersiz olduğu bölgelerde, taksi hizmetleri ulaşım boşluğunu doldurarak hareketliliği artırır.

Taksi kullanımı, bireylerin kendi özel araçlarına ihtiyaç duymadan seyahat etmelerini sağlar (Geurs ve Van Wee, 2004). Özellikle büyük şehirlerde park sorunları ve trafik sıkışıklığı gibi sorunların azaltılmasında taksi hizmetleri etkili bir rol oynar. Toplu taşıma kullanımını teşvik ederek, şehirlerdeki hava kirliliği ve karbon emisyonlarının azaltılmasına da katkıda bulunur (Santos vd., 2019).

Taksi sektörü de, yerel ekonomiye istihdam ve sosyal katkı sağlar (Frenken ve Boschma, 2007). Taksi sürücüleri, yerel işletmeler ve servis sağlayıcıları aracılığıyla şehirlerin ekonomik canlılığına katkıda bulunur. Ayrıca, turistlerin şehir içinde rahatça hareket etmesini sağlayarak turizm gelirlerinin artmasına da yardımcı olurlar. Turistler ve ziyaretçiler için taksi hizmetleri, şehri keşfetmeyi kolaylaştırabilir (Cohen ve Gössling, 2015). Taksi sürücüleri genellikle şehir hakkında bilgi sahibi olduklarından, turistlere rehberlik edebilir ve önemli yerleri gösterebilirler. Bu, şehir tanıtımına ve turizm sektörünün gelişimine olumlu katkı sağlar.

Taksi kullanmak, özellikle gece saatlerinde veya güvenlik endişelerinin olduğu durumlarda bireylerin kişisel güvenliklerini artırabilir (Loukaitou-Sideris ve Banerjee, 2004). Düzenli olarak denetlenen, lisanslı taksi ve sürücüleri ile yolcuların güvenli bir şekilde seyahat etmeleri sağlanabilir. Gelişmiş ülkelerde, taksi sürücülerinin belirli standartları karşılaması ve eğitim alması beklenir (OECD, 2019). Ruhsat aşamasında bağımlılık testi, psikoteknik testler ve benzeri değerlendirmelerden geçmeleri, yolcu güvenliği ve hizmet kalitesi açısından önemlidir. Dijital sistemlerle taksi hizmetlerinin uzaktan kontrolü ve denetimi hem yolcular hem de sürücüler için güvenli ve şeffaf bir ortam yaratılmasına yardımcı olabilir.

Taksi hizmetleri, bireyler için önemli bir ulaşım seçeneği olarak kabul edilir ve birçok durumda pratik ve etkili bir çözüm sunar. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte, taksi hizmetleri de dijitalleşmekte ve daha kullanıcı dostu hale gelmektedir. Taksi hizmetlerinin toplu taşıma sistemleri içerisindeki rolü ve önemi göz önünde bulundurulduğunda, bu hizmetlerin düzenlenmesi, geliştirilmesi ve entegre bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşır.

## 2. Toplu ulaşım sisteminde taksinin yeri ve önemi

Şehirlerdeki ulaşımın sürdürülebilirliği, sadece toplu ulaşımına değil, aynı zamanda taksiler, bisikletler, yaya ulaşımı gibi alternatif ulaşım modlarının da entegrasyonuna bağlıdır (Litman, 2021). Özellikle günümüzde Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) teknolojilerinin gelişmesiyle, taksilerin toplu ulaşım sisteminde daha verimli ve entegre bir şekilde dahil edilmesi mümkün hale gelmiştir. Bu bağlamda, İstanbul gibi büyük ve karmaşık şehirlerde taksilerin toplu ulaşım sistemindeki yeri ve önemi daha da belirginleşmektedir.

- **Toplu taşıma sistemini tamamlayıcı rol:** Metro, otobüs, tramvay gibi toplu taşıma sistemleri yoğun olarak kullanıldığı metropollerde, bu sistemlerin kapsama alanlarının sınırlı olduğu veya sefer saatlerinin yetersiz kaldığı durumlarda, taksiler toplu taşıma sistemini tamamlayıcı bir rol üstlenirler (Cervero ve Murakami, 2020). Özellikle gece geç saatlerde veya erken sabah saatlerinde toplu taşıma seçeneklerinin azaldığı zaman dilimlerinde taksiler, ulaşım sürekliliğini sağlamada önemli bir rol oynarlar.
- **Kapıdan kapıya ulaşım imkânı:** Taksi hizmetleri, yolculara kapıdan kapıya ulaşım imkânı sunarak, toplu taşıma duraklarına yürüme mesafesini ve aktarma sürelerini ortadan kaldırır (Bansal vd., 2019). Bu özellik, özellikle hareket kabiliyeti kısıtlı bireyler, yaşlılar ve ağır yük taşıyanlar için büyük bir avantaj sağlar.
- **Esneklik ve hız:** Taksi hizmetleri, toplu taşıma araçlarına göre daha esnek ve hızlı bir ulaşım seçeneği sunar (Jin vd., 2019). Yolcular, taksi kullanarak istedikleri zaman ve istedikleri yere doğrudan ulaşabilirler. Taksi kullanımı, acil durumlar, beklenmedik toplantılar veya ani plan değişiklikleri gibi zaman kısıtlı durumlarda bireylerin hedeflerine hızlı ulaşımını sağlar.
- **AUS teknolojileri ile entegrasyon:** AUS teknolojilerinin gelişmesi, taksi hizmetlerinin daha verimli ve kullanıcı dostu hale gelmesini sağlamıştır (Shaheen vd., 2018). GPS tabanlı navigasyon sistemleri, mobil uygulamalar üzerinden taksi çağırma ve online ödeme gibi özellikler, yolcuların taksi deneyimini iyileştirirken, aynı zamanda taksi işletmelerinin operasyonel verimliliğini de artırmaktadır.
- **Turizm ve ekonomiye katkı:** Taksi hizmetleri turistlerin şehir içinde rahatça hareket etmesini sağlamada önemli bir rol oynar (Cohen ve Gössling, 2015). Ayrıca, taksi sektörü, ekonomiye istihdam ve gelir sağlayarak önemli bir katkı da sunmaktadır (Frenken ve Boschma, 2007).

Şehirdeki ulaşımın sürdürülebilirliği, taksilerin yanı sıra toplu ulaşım, bisiklet, yaya ulaşımı gibi alternatif ulaşım modlarının da düşünülmesini gerektirirken güncel taksi sistemi sorunlarına çözüm getiren AUS teknolojilerinin kullanımını teşvik etmektedir (Tektaş ve Tektaş, 2022). Bu nedenle, İstanbul'da ulaşım stratejileri, taksilerin AUS teknolojilerine entegre olmuş, tüm ulaşım modlarını dengeli bir şekilde entegre etmeye odaklandığı görülmektedir.

Tokyo, New York, Londra, Paris, Pekin, Moskova, Mumbai ve İstanbul gibi dünyanın gelişmiş metropollerinde taksi kullanımı oldukça yaygındır. Bu şehirler, genellikle nüfus yoğunluğunun ve trafik sıkışıklığının yüksek olduğu yerlerdir. Toplu ulaşım sistemleri bu yoğunluğu hafifletmek için önemli olsa da bireylerin hızlı ve konforlu bir şekilde istedikleri yere ulaşmak için taksi tercih etmeleri yaygındır. Ayrıca, turistlerin ve iş seyahati yapanların kolayca kullanabileceği bir ulaşım aracı olması da taksi kullanımını artıran etkenlerden biridir. Gelişmiş mega kentler, yüksek nüfus yoğunlukları ve sürekli hareketlilik nedeniyle yoğun bir taksi talebiyle karşı karşıyadır. Bu talep, doğal olarak taksi sayılarının da yüksek olmasına yol açar. Örneğin, 2020 yılı itibarıyla dünyanın önde gelen metropollerindeki taksi sayıları aşağıdaki gibidir:

- Tokyo, Japonya: Tokyo'da yaklaşık 50.000 taksi hizmet vermektedir (Tokyo Metropolitan Government, 2020).
- New York, ABD: New York şehrinde yaklaşık 13.587 sarı taksi bulunmaktadır (New York City Taxi and Limousine Commission, 2020).
- Londra, Birleşik Krallık: Londra'da yaklaşık 21.000 siyah taksi hizmet vermektedir (Transport for London, 2020).
- Moskova, Rusya: Moskova'da yaklaşık 50.000 taksi bulunmaktadır (Moscow Department of Transport, 2020).



- Mumbai, Hindistan: Mumbai'de yaklaşık 58.000 taksi hizmet vermektedir (Brihanmumbai Electric Supply and Transport, 2020).
- Pekin, Çin: Pekin'de yaklaşık 66.000 taksi bulunmaktadır (Beijing Municipal Commission of Transport, 2020).
- İstanbul, Türkiye: İstanbul'da yaklaşık 17.395 taksi bulunmaktadır (İstanbul Ticaret Odası, 2020).
- Paris, Fransa: Paris'te yaklaşık 17.000 taksi hizmet vermektedir (Préfecture de Police, 2020).

### 3. Sürücü tanıma sistemleri

Sürücü tanıma sistemleri, genellikle çeşitli algılama ve analiz tekniklerini kullanarak sürücülerin kimliklerini belirlemek veya sürücü davranışlarını izlemek için tasarlanmıştır. Bu sistemler, sürücülerin yorgunluk seviyelerini, dikkat dağınıklıklarını, sürüş tarzlarını, kimlik doğrulama ve hatta duygusal durumlarını belirlemek için kullanılabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Sürücü tanıma sistemleri

Sürücü tanıma sistemi, genellikle sürücünün yüz, göz, dudak hareketleri veya biyometrik özellikleri gibi belirli fiziksel veya davranışsal özellikleri kullanarak sürücüyü tanımlar. Sürücü tanıma sistemleri, araç içi güvenlik, konfor ve kişiselleştirilmiş sürücü deneyimi gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

#### 3.1. Sürücü tanıma sistemlerinde kullanılan teknolojiler

Sürücü tanıma sistemlerinde kullanılan teknolojiler ve bunlara bağlı temel özellikler aşağıda yer almaktadır.

##### 3.1.1. Yüz tanıma sistemi

Yüz tanıma teknolojisi, son yıllarda güvenlik, kimlik doğrulama ve erişim kontrolü gibi birçok alanda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Zhao vd., 2003). Toplu ulaşım sistemlerinde, özellikle otobüs, metro ve tren gibi toplu taşıma araçlarında, güvenlik ve yolcu takibi amacıyla yüz tanıma sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır (Li ve Jain, 2011).

Yüz tanıma sistemlerinin performansını artırmak için derin öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır. Derin öğrenme, yapay sinir ağları kullanılarak büyük veri kümeleri üzerinde eğitilen bir makine öğrenmesi yöntemidir (LeCun vd., 2015). Yüz tanıma sistemlerinde, derin öğrenme algoritmaları, yüz görüntülerindeki özellikleri otomatik olarak öğrenerek yüzleri daha doğru bir şekilde tanımlayabilmektedir (Schroff vd., 2015). Yüz tanıma teknolojisinin doğruluk oranı, kullanılan algoritmalar, veri kümeleri ve çevresel faktörler gibi birçok faktöre bağlıdır. Derin öğrenme algoritmaları sayesinde yüz tanıma sistemlerinin doğruluk oranında önemli bir artış olmuştur (Guo vd.,

2016). Fakat düşük ışık koşulları, yüz ifadeleri ve yüzdeki aksesuarlar gibi faktörler, yüz tanıma sistemlerinin performansının düşüşüne neden olmakta ve kullanımıyla ilgili gizlilik endişeleri de bulunmaktadır. Yüz tanıma sistemleri, bireylerin yüz görüntülerini toplamakta ve bu verileri bir veri tabanında saklamaktadır. Bu verilerin kötüye kullanılması veya yetkisiz kişilerin erişimine açılması, bireylerin gizliliğini tehlikeye sokacağı endişesi de devam etmektedir (Ohm, 2010). Bu nedenle, yüz tanıma sistemlerinin kullanımıyla ilgili yasal düzenlemeler ve etik kuralların düzenlenmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

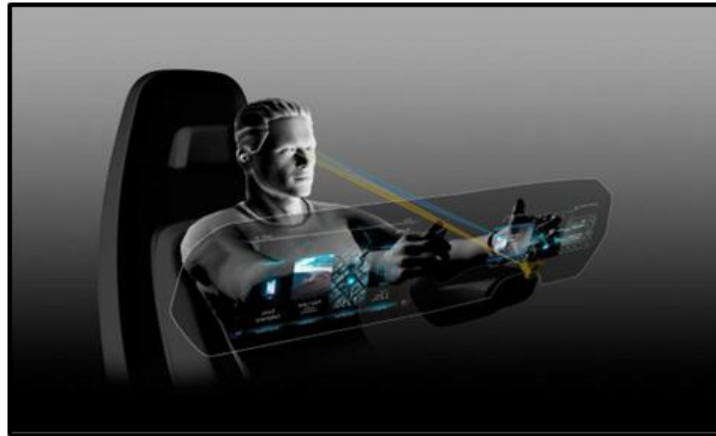
Taksilerde yüz tanıma teknolojisinin kullanımı yaygın olmamakla birlikte pilot çalışması olarak kullanılan yerlerde mevcuttur. Örneğin, Tokyo'da taksi şoförlerinin kimliğini doğrulamak ve güvenliği artırmak için kullanılan sürücü tanıma sistemi, Tokyo Century Corporation tarafından geliştirilmiş ve 2020 yılında Aizu Taxi filosunda kullanıma sunulmuştur. Aizu Taxi'nin yüz tanıma sistemi, Tokyo'da sınırlı sayıda takside kullanılmaktadır (Tokyo Century Corporation, 2020). Ancak, sistemin başarılı olması durumunda diğer taksi şirketleri tarafından da benimsenmesi beklenmektedir. Taksilerin bireysel olarak bu teknolojiyi benimsemesi ve kullanması henüz yaygın olmayıp, uygulamadaki yaşanan sorunlar nedeniyle sürdürülebilir bir teknoloji olarak görülmemektedir.



Şekil 2. Tokyo'da kullanılan sürücü tanıma sistemi cihazı (Tokyo Century News, 2020)

### 3.1.2. Göz takip sistemi

Sürücünün dikkat durumunu değerlendirmek için kameralar aracılığıyla sürücünün göz hareketleri ve bakış noktaları analiz edilmektedir. Bu analizler, sürücünün dikkatinin yolda olup olmadığını belirlemeye yardımcı olmaktadır (Pal, Nunez, Wang ve Bian, 2020).



Şekil 3. Göz takip sistemi

İnsan gözlerinin hareketlerini takip ederek oluşturulan takip ve denetleme sistemi, teknolojik olarak evrimini tamamlamamış olup, doğruluk yüzdesinin artırılmasına ve stabil yüksek doğruluğa haiz olması beklenmektedir. Testleri ve pilot kullanımları birçok gelişmiş şehirde denenmektedir. Ancak günümüzde istenen doğrulukta yeterlilikte olmadığı için sürücü takip sistemlerinde yaygın olarak kullanılamamaktadır (Chu, Li, Zhang ve Yang, 2019).

### 3.1.3. RFID kart ve biyometrik tanıma

Parmak izi, retina taraması veya el damarları gibi biyometrik özelliklerle sürücü kimliği doğrulanabilmektedir. Bu tür biyometrik veriler, sürücüyü benzersiz bir şekilde tanımlamak için kullanılmaktadır (Jain, Ross ve Nandakumar, 2016). RFID kartların kaybolması, kırılması, unutulması ve benzeri sebeplerle tek başına kullanılamamaktadır. Bu nedenle biyometrik sistemlerle beraber kullanılmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Drahansky, Safarik ve Brezinova,2017).



Şekil 4. Parmak izi ve biyometrik tanıma sistemleri

Biyometrik tanıma sistemlerinin uygulanması ise genellikle kişisel gizlilik ve veri güvenliği gibi konular nedeniyle dikkatlice değerlendirilmelidir. Ancak bu teknolojinin kullanılmasıyla ilgili yerel düzenlemeler ve yasal çerçeveler de göz önüne alınmalıdır (Ratha, Connell ve Bolle, 2001). Kameralı sürücü tespit sistemleri olduğu gibi; Avrupa Birliği ülkelerinde aracın içerisindeki sürücünün göz bebeği(retina) ve el damarları veya parmak izi gibi kişisel kaydedilmesi ve veya bilgilerinin kullanımı yasal görülmediği için gelişmiş ülkelerde bu teknoloji yaygın olarak kullanılamamaktadır.

### 3.1.4. Ses tanıma

Sürücünün ses özellikleri analiz edilerek tanınması mümkündür. Sesli komutları anlama ve sürücünün sesini diğer yolcuların seslerinden ayırt etme gibi özellikler içerebilir. Ses tanıma sisteminde ses dalgaları karşılaştırılarak kimlik tespiti yapılır (Reynolds, Rose ve Quatieri, 2000). Ses tanıma sistemlerinin uygulanması da kişisel gizlilik ve veri güvenliği gibi konular nedeniyle dikkatlice değerlendirilmelidir. Avrupa Birliğine üye ülkelerde kullanımı yasal görülmemektedir. Ancak bu teknolojinin kullanılmasıyla ilgili yerel düzenlemeler ve yasal çerçeveler de göz önüne alınmalıdır. Bu teknoloji gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmamaktadır çünkü kişisel bilgilerin kullanımı yasal kabul edilmemektedir.



Şekil 5. Ses tanıma sistemi

Sürücü tanıma sistemleri, araç içi güvenlik sistemlerini artırmak, otomatik sürüş teknolojilerini desteklemek, sürücüye kişisel tercihlere göre ayarlar sunmak ve sürücü odaklı güvenlik uyarıları

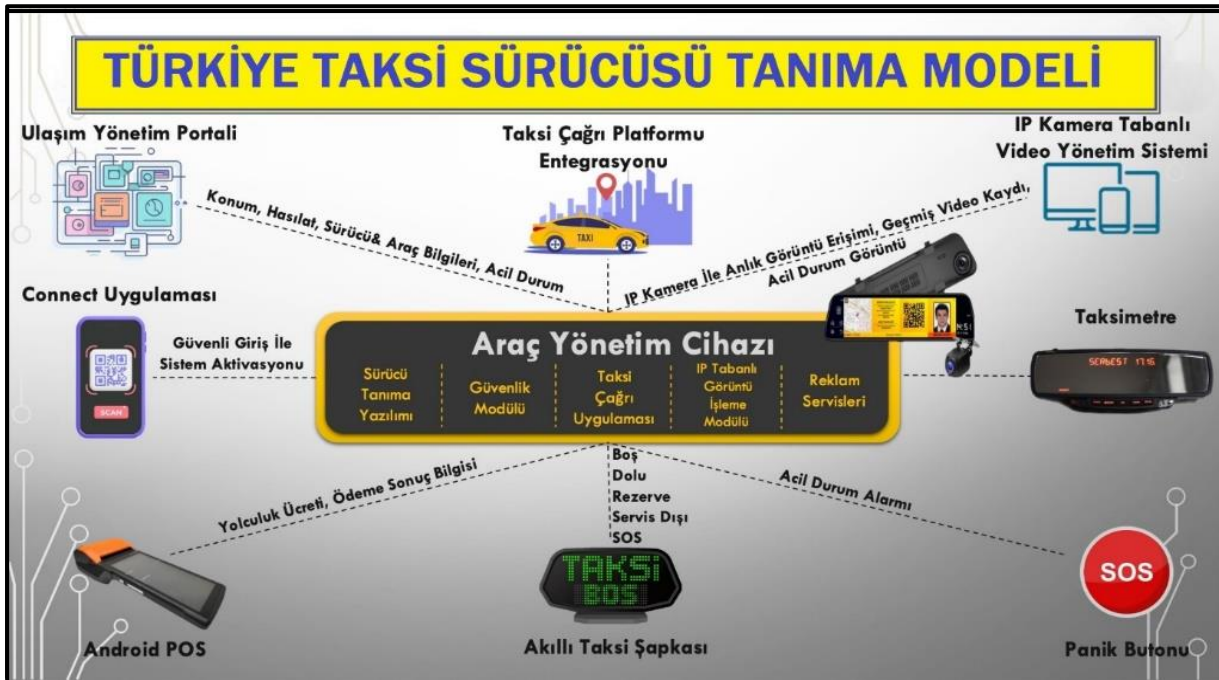
sağlamak gibi çeşitli amaçlar için kullanılır (Huang, Xu, Wang ve Wang, 2018). Bu sistemler, sürücülerin ve yolcuların daha güvenli ve konforlu bir sürüş deneyimi yaşamalarına katkıda bulunabilir. Ancak stabil çalışan, doğruluk oranı yüksek sürücü tanıma sistemleri ile sürdürülebilir ve etkin bir denetim sağlanarak toplu ulaşımda hizmet kalitesi artırılabilirliği anlaşılmaktadır.

#### 4. Toplu ulaşımda sürücü tanıma sistemleri

Toplu ulaşımda sürücü tanıma sistemleri, sürücünün kimliğini ve davranışlarını belirlemek amacıyla kullanılan teknolojik çözümlerdir. Toplu taşıma araçlarından taksiler için geliştirilen sürücü tanıma sistemi modeli bu çalışmada yer almaktadır. Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Modeli bileşenleri ve yasal alt yapısı, modelin kurulması aşağıda yer almaktadır.

##### 4.1. Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Modeli (TTSTSM)

Toplu ulaşım sistemleri, kentlerdeki ulaşımın önemli bir parçasını oluştururken, bu sistemlerin verimli ve güvenli bir şekilde işlemesi büyük önem taşımaktadır. Ancak, toplu ulaşım araçlarında sürücü davranışlarının izlenmesi ve yönetilmesi, sürücü güvenliği, yolcu memnuniyeti ve operasyonel verimlilik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, toplu ulaşım araçlarında sürücü tanıma sistemleri, sürücülerin davranışlarını izlemek, değerlendirmek ve gerektiğinde müdahale etmek için önemli bir araç haline gelmektedir. Aşağıdaki şekilde görülen tüm büyük şehirlerde kullanılabilecek bir Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Modeli (TTSTSM) modelimiz şematik olarak gösterilmiştir ve devamında detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 6. Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Modeli (TTSTSM) genel çalışma prensibi

Geliştirilen (TTSTSM), dünyadaki metropol şehirlerin ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin mevcut taksi sistemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu model, güvenlik, konfor, erişilebilirlik ve entegrasyon gibi temel unsurları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Modelin özellikleri;

- **Güvenlik teknolojileri:** Geliştirilen model, yolcu ve sürücü güvenliğini artırmak için gelişmiş güvenlik teknolojileriyle donatılmıştır. Bu teknolojiler arasında GPS takip sistemi, acil durum butonu, yolculuk kayıtları ve sürücü kimlik doğrulama sistemleri yer almaktadır.

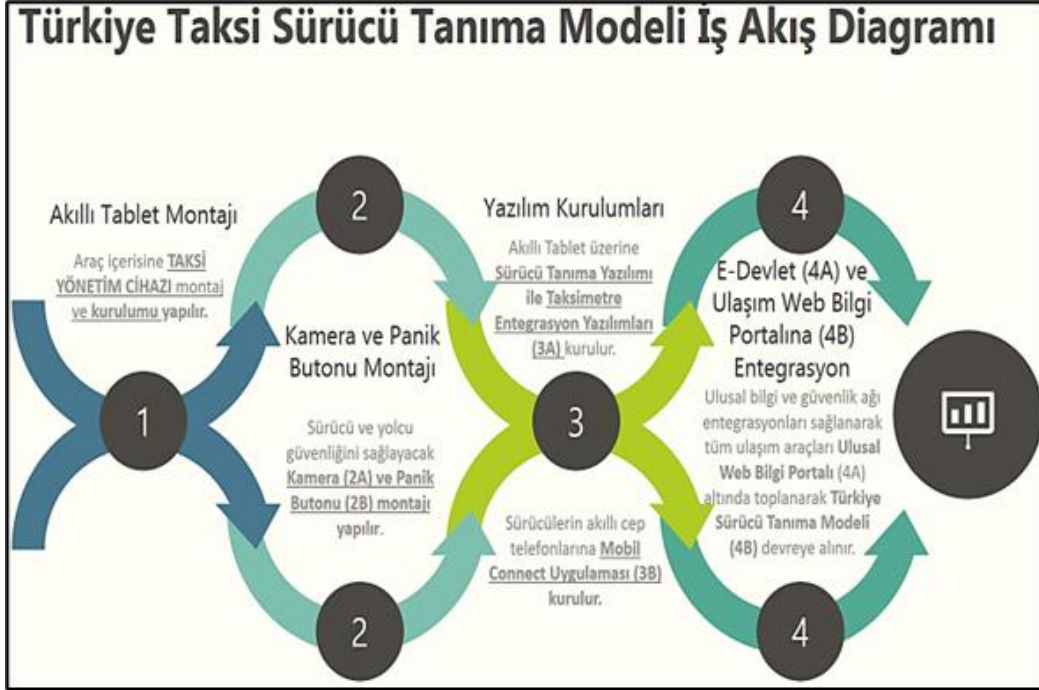
- **IoT sensör teknolojileri:** Model, Nesnelerin İnterneti (IoT) sensör teknolojileriyle entegre edilerek, gerçek zamanlı veri toplama ve analiz imkânı sunmaktadır. Bu sensörler aracılığıyla trafik yoğunluğu, hava durumu, yol koşulları gibi veriler toplanarak, taksi hizmetlerinin optimizasyonu ve yolculara daha iyi hizmet sunulması hedeflenmektedir.
- **Online ödeme sistemleri:** Akıllı taksi modeli, online ödeme sistemleriyle entegre edilerek, yolculara kolay ve temassız ödeme seçenekleri sunmaktadır. Bu sayede, nakit para taşıma ihtiyacı ortadan kalkmakta ve ödeme işlemleri daha hızlı ve güvenli hale gelmektedir.
- **Araç üstü akıllı taksi bilgilendirme şapkası:** Model, araç üstünde bulunan akıllı bir bilgilendirme şapkası ile donatılmıştır. Bu şapka, taksinin müsaitlik durumunu, güzergâh bilgisini ve tahmini varış süresini yolculara ve trafik yönetim sistemine iletmektedir. Bu sayede, yolcular taksileri daha kolay bulabilirken, trafik yönetimi de taksi hareketlerini daha etkin bir şekilde takip etmelerine olanak sağlamaktadır.
- **Türkiye geneli uygulanabilirlik:** Model, Türkiye'nin farklı şehirlerindeki ihtiyaçları ve mevcut altyapıyı göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. Bu nedenle, ülke genelinde uygulanabilir ve mevcut IoT teknolojileriyle entegre edilebilir.
- **Sürdürülebilirlik:** Modelin tasarımında sürdürülebilirlik ilkeleri göz önünde bulundurulmuştur. Yakıt verimliliği yüksek araçların kullanımı, çevre dostu teknolojilerin entegrasyonu ve akıllı trafik yönetimi sistemleriyle entegrasyon, modelin çevresel etkisini azaltmaya yöneliktir.

#### 4.2. TTSTM kuruluşu

Bu çalışmada, taksi sürücülerinin kimliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla derin öğrenme teknikleri kullanılarak bir model geliştirilmiştir. Toplu ulaşımda taksi güvenliğini artırmak, hizmet kalitesini iyileştirmek ve Türkiye'deki taksi sistemine etkili bir çözüm modeli sunmak amaçlanmıştır. Önerilen model, taksi hizmetleri için güvenli ve sürdürülebilir bir yönetim yapısı sağlamayı hedeflemektedir. Yerel ve ulusal ölçekte uygulanabilir bir çözüm olarak geliştirilen model, sürücü kimlik doğrulaması yoluyla izinsiz araç kullanımını engellemeyi, sürüş güvenliğini artırmayı ve genel müşteri memnuniyetini yükseltmeyi amaçlamaktadır.

Geliştirilen model, Türkiye'deki mevcut taksi sisteminde gözlemlenen temel sorunlar ve bu sorunlara yönelik çözüm önerileri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Sürücü kimlik doğrulamasındaki eksiklikler, sürücü güvenliğine yönelik tehditler ve yolcuların güvenlik beklentileri, modelin odaklandığı temel sorun alanlarıdır. Bu doğrultuda, derin öğrenme algoritmalarıyla entegre edilmiş bir sürücü tanıma sistemi kullanılarak hem bireysel hem de genel taksi güvenliğinin sağlanması ve hizmet kalitesinin artırılması hedeflenmiştir. Modelin detayları, bu çalışmanın giriş bölümünde belirtilen genel prensipler çerçevesinde ve aşağıdaki akış diyagramına dayalı olarak açıklanacaktır. Diyagram, sürücü tanıma sürecinin aşamalarını, kullanılan teknolojileri ve veri işleme süreçlerini adım adım göstererek modelin işleyişini ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesini görsel olarak açıklamaktadır.





Şekil 7. Türkiye sürücü tanıma sistemi iş akış diyagramı

#### 4.3. Taksi yönetim cihazı akıllı tabletinin araca montajı ve devreye alınması

İlk aşamada, taksi araçlarının ön konsoluna Taksi Yönetim Cihazı Akıllı Tableti monte edilir. Bu tablet, Android 10 ve üzeri işletim sistemi, 2GB RAM ve 16GB ROM bellek kapasitesi ile donatılmıştır. Dokunmatik ekran özelliği sayesinde kullanıcı dostu bir arayüz sunan tablette, entegre bir ön yol kamerası da bulunmaktadır. Geniş açılı lens yapısıyla sürücü ve yolcuları aynı anda izleyebilen bu kamera, gece görüş özelliği sayesinde düşük ışık koşullarında dahi yüksek kaliteli görüntü kaydı yapabilmektedir. Cihaz ayrıca, mobil ağlar üzerinden görüntü ve veri aktarımını sağlayan endüstriyel bir mobil network kayıt cihazı ile desteklenmektedir. Mobil kameralar ve GPS alıcı anteni, Taksi Yönetim Cihazı Akıllı Tableti entegre edilerek sürüş sırasında aracın konumunun ve hareketlerinin hassas bir şekilde izlenmesini sağlar. Bu sistem, yolculuk güvenliğinin artırılması ve sürücü performansının izlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.



Şekil 8. Araç içi akıllı tablet montajı

Her taksiye, Türkiye Taksi Yönetim Sistemi'ne entegre olabilen, akredite markalar tarafından üretilen "ARAÇ (TAKSİ) YÖNETİM CİHAZI"nın kurulması gerekmektedir. Bu cihaz, güvenlik, bankacılık, bilgilendirme ekranları ve IoT sensörleri gibi çeşitli bileşenleri entegre ederek sistemin işleyişini sağlar. Önerilen model, İstanbul'da mevcut sistemlere ek olarak bir cihaz yatırımı gerektirmektedir. Araç yönetim cihazına sahip olmayan diğer şehirlerde ise, cihaz yatırımının şehir yönetimleri (kamu otoriteleri) veya taksi plakası sahipleri tarafından karşılanması gerekmektedir.

#### 4.4. Kamera ve panik butonu montajı ve devreye alınması

İkinci aşamada, taksinin ön camına, sürücü ve yolcuları geniş açılı bir perspektifle izleyebilecek şekilde konumlandırılmış, 1080P Full HD çözünürlüğe ve gece görüş özelliğine sahip bir kamera monte edilir. Bu kamera, yüksek çözünürlükte görüntü kaydı yapabilme yeteneğiyle gece ve düşük ışık koşullarında dahi etkin performans sağlar. Taksi Yönetim Cihazı Akıllı Tableti'ne entegre bir ön yol kamerası bulunduğundan, bu kameranın ayrı bir montajı gerekmez. Mobil kameralar ve GPS alıcı anteni, Taksi Yönetim Cihazı Akıllı Tableti'ne bağlanarak araç içi güvenlik ve konum izleme işlevlerinin eksiksiz bir şekilde yerine getirilmesini sağlar.



Şekil 9. Araç içi kamera ve gps anteni montajı

Kamera montajının tamamlanmasının ardından, taksi sürücüsünün kullanımı için tasarlanmış minyatür boyutlu "Panik Butonu" aracın uygun bir yerine monte edilir. Bu panik butonu, sürücü tarafından acil durumlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olup, güvenlik tehditlerine karşı hızlı müdahaleyi sağlamayı amaçlamaktadır. Montaj işleminin ardından, butonun kablosu, araç içindeki Akıllı Tablete bağlanarak devreye alınır. Bu bağlantı, panik butonuna basıldığında ilgili sinyallerin anında merkezi sistemlere iletilmesini ve gerekli güvenlik önlemlerinin hızlı bir şekilde alınmasını sağlar.



Şekil 10. Panik Butonu Montajı

#### 4.5. Sürücü tanıma yazılımı ve mobil connect uygulaması

Bu aşamada, Türkiye'de daha önce mevcut olmayan Türkiye Taksi Yönetim Merkezi yazılımına entegre edilmiş Sürücü Tanıma Yazılımı, Taksi Yönetim Cihazı Akıllı Tableti'ne yüklenir. Sürücü Tanıma Yazılımı, taksi sürücülerinin akıllı cep telefonlarına yükledikleri Mobil Connect adlı uygulama ile senkronize çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu uygulama, yalnızca veri tabanında kayıtlı sürücülerin giriş yapabildiği bir güvenlik katmanını sunar. Sürücüler, Mobil Connect uygulaması aracılığıyla Sürücü Tanıma Yazılımı kapsamında bulunan QR kodunu okutarak, yalnızca kayıtlı oldukları araca giriş yapabilir ve "Ulaşım Denetim Yönetim" sistemini aktif hale getirebilirler. Bu entegrasyon, taksi hizmetlerinde sürücü kimlik doğrulamasını güvence altına alarak izinsiz araç kullanımını önler ve sistemin güvenilirliğini artırır.



Şekil 11. Mobil connect aktivasyonu yapılmış uygulama ekran görüntüsü

Mobil Connect Uygulaması, Şehir Ulaşım Yönetimi ve Toplu Ulaşım veri tabanında kayıtlı sürücülerin, Sürücü Tanıma Yazılımı aracılığıyla sisteme giriş yapmalarını ve aktif hale gelmelerini sağlar. Bu uygulama, sürücü kimlik doğrulamasını güvence altına alarak yalnızca yetkili sürücülerin sisteme erişimini mümkün kılar. Ayrıca, uygulama, anlık ve geçmişe yönelik yolculuk verilerinin merkez sunucu bilgisayarlarından çekilerek sürücünün mobil cihazında görüntülenmesini sağlar. Konum, hasılat, güzergâh ve ödeme tipi gibi bilgileri içeren bu veriler, sürücü tarafından anlık olarak izlenebilir ve kontrol edilebilir. Bu özellikler, potansiyel anlaşmazlıkların çözülmesi ve geçmiş olayların aydınlatılması için detaylı geriye dönük raporlama imkânı sunar.

#### 4.6. Sürücü tanıma sistemi yazılımının araca kurulması ve fonksiyon testlerinin tamamlanması

Sisteme giriş yapan ve kayıtlı yetkili sürücünün bilgileri "Taksi Yönetim Cihazı Tabletine" aşağıdaki şekilde yansımakta olup, bilgilerin doğruluğu hem sürücü hem yolcu hem de denetim personelleri tarafından rahatça yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 12. Sürücü tanıma yazılımı uygulaması ekran görüntüsü

Bu sürücü tespit istemci yazılımı, taksi, minibüs, servis araçları için çalışan web tabanlı merkezi bilgi portal yazılımı, taksi yönetim cihazı içerisinde çalışan mobil işlemci/client uygulaması ve merkezi izleme/indirme yazılımları ile uyumlu-entegre çalışmaktadır.



#### 4.7. E-devlet entegrasyonu, çok faktörlü kimlik doğrulaması ve ulaşım web portalına entegrasyon

Merkez sunucuların E-Devlet entegrasyonu ile uyumlu hale getirilmesinin ardından, sürücüler Sürücü Tanıma Yazılımı'na Mobil Connect uygulaması üzerinden veri tabanında kayıtlı cep telefonu numaralarıyla giriş yapabilirler. Giriş işlemi sırasında, kullanıcının ruhsat sistemine kayıtlı cep telefonu numarasına bir SMS gönderilerek çok faktörlü kimlik doğrulaması gerçekleştirilir. Bu doğrulama süreci, dijital imza teknolojisi ile tamamlanarak sürücünün sisteme güvenli erişimi sağlanır. Sistemin işleyişi kapsamında, aracın tüm sürüş ve sefer verileri, güzergâh ve rota bilgileri, sürücü bilgileri ve taksimetre ücreti gibi veriler Ulaşım Web Portalı'na entegre edilerek analiz edilir. Bu veriler üzerinden detaylı raporlar oluşturulabilir ve belirli kriterler doğrultusunda otomatik alarmlar oluşturulabilir.



Şekil 13. Çok faktörlü kimlik doğrulaması ekran görüntüsü

#### 4.8. Çalışma ruhsatı geçerlilik takibi

Sürücüler, Mobil Connect uygulaması aracılığıyla çalışma ruhsatlarının geçerlilik durumunu takip edebilirler. Çalışma ruhsatı sona eren sürücüler, sistem üzerinden otomatik olarak bilgilendirilir. Aracın yolculuk yapmak için bekleyen yolculara durumunu bildiren Akıllı Tepe Lambası, yalnızca sürücünün sisteme giriş yapması halinde aktif hale gelir. Bu uygulama, sürücülerin çalışma izni olmadan yolculuk yapmasını engelleyerek sistemin güvenliğini ve düzenliliğini sağlar.



Şekil. 14. Çalışma ruhsatı geçerlilik durumu

#### 4.9. Sistemin değerlendirilmesi

Bu çalışmada, Türkiye ve dünya genelindeki gelişmiş metropollerde toplu ulaşımın önemli bir bileşeni olan taksilerin, İstanbul ili özelinde toplu ulaşım sistemindeki rolü ve önemi incelenmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, İstanbul'da uygulanan mevcut sürücü tanıma sistemi detaylı bir şekilde ele alınmış ve yapılan iyileştirmeler sunulmuştur. Ayrıca, dijital imza entegrasyonu sağlanarak sürdürülebilir ve Türkiye'nin özgün ihtiyaçlarına uygun bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Modeli, sürücülerin kimliklerinin dijital imza yöntemleriyle doğrulanmasını sağlar. Bu modelde, görüntü işleme teknolojileri ve elektronik ödeme sistemleri entegre edilmiştir. Geliştirilen sistem, sürücü ve yolcu güvenliğini artırmayı, daha konforlu bir seyahat deneyimi sunmayı ve şehir ile ülke yönetimlerinin toplu ulaşımı daha etkin bir şekilde denetleyebilmesini hedeflemektedir. Taksi hizmetlerinde güvenlik, verimlilik ve denetlenebilirliği bir arada sunan bu sistem, sektörde önemli bir yeniliktir.



Şekil 15. BAUSMER Türkiye taksi sürücü tespit ve denetim sistemi faydaları

Bu çalışmada, E-Devlet sistemi ile entegrasyon sağlanarak ulusal bilgi ve güvenlik açısından yararlanılmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde, ehliyet, sabıka kaydı ve yüz kızartıcı suçlara sahip kişilerin toplu ulaşım taksi sürücü sistemine dahil edilmemesi güvence altına alınmıştır. Bu mekanizma, insan kaynaklı hata payını en aza indirmekte ve sistemin güvenilirliğini artırmaktadır. Geleneksel, yenilikçi ve sürdürülebilir olmayan yaklaşımlar yerine, bu tez çalışmasında uygulanabilir ve sürdürülebilir bir Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Modeli geliştirilmiştir.

Her taksiye, akredite edilmiş markalar tarafından üretilen ve Türkiye Taksi Yönetim Sistemine entegre olabilen “**Araç (Taksi) Yönetim Cihazları**”nın kurulması gerekmektedir. Bu cihazlara, güvenlik, bankacılık, bilgilendirme ekranları ve IoT sensörleri gibi sistemlerin entegre edilmesi sağlanacaktır. İstanbul’da bu modelin uygulanması ekstra bir cihaz yatırımı gerektirmektedir. Bu cihaza sahip olmayan diğer şehirlerde bu yatırımın şehir yönetimleri (kamu) veya taksi plakası sahipleri tarafından karşılanması gerekmektedir.

Modelin temel ilkelerinden biri, sürücü takip uygulamasına giriş yapılmadan taksinin çalıştırılmamasıdır. Bu kapsamda, UKOME kararı ve bir genelge ile yasal düzenlemeler yapılarak sürücülerin, sisteme giriş yapmadan araçları çalıştırmalarının önüne geçilecektir. Sürücü aracı çalıştırmak istediğinde, taksimetreyi başlatmaya çalıştığı anda, Araç (Taksi) Yönetim Cihazı tarafından sesli ve görüntülü bir uyarı verilerek, “**Lütfen Sürücü Girişi Yapınız-Kayıtsız Yetkisiz Sürücü**” alarmı oluşturulacaktır. Bu uyarı, aynı zamanda Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistem Merkezi operatör ekranında gösterilecek ve veri tabanına kaydedilecektir.

**E-Devlet entegrasyonu:** Taksi sürücü tanıma sisteminin yazılım altyapısını güçlendiren önemli bir unsurdur. Henüz mevcut olmayan şehirlerde ise sürücü kayıt ve ruhsat sistemleri veri tabanları oluşturularak E-Devlet altyapısına entegre edilmelidir. Bu entegrasyon ile Emniyet Genel Müdürlüğü sistemine erişim sağlanarak, her sürücünün beş yıl geriye dönük Genel Bilgi Toplama (GBT) kayıtları otomatik olarak kontrol edilebilecektir. Yüz kızartıcı suçlar veya alkollü araç kullanımı gibi suçlardan hüküm giymiş sürücüler otomatik olarak tespit edilecek ve sürücü kartlarının askıya alınması sağlanacaktır. Böylece, sürücü ve yolcu güvenliğini tehdit eden durumlar ve trafikte yaşanan anlaşmazlıklar zamanla en aza indirilecektir. Bu sistemin temel amacı, bağımlılık testini geçemeyen, sağlık kontrollerini yaptırmamış, yüz kızartıcı suçlardan hüküm giymiş ve adli sicil sınırlamaları devam eden, kayıtsız ve yetkisiz kişilerin araç sürmesini engellemektir.

Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi, güvenlik sorunlarını minimize etmek amacıyla geliştirilmiş olup, araç içerisinde meydana gelebilecek gasp, hırsızlık, yaralama gibi acil durumların bildirilmesi ve bu tür olayların en aza indirilmesi için caydırıcı önlemler içermektedir. Bu kapsamda, araç içerisine “**Yolcu Panik Butonu**” ve “**Sürücü Panik Butonu**” olmak üzere iki ayrı panik butonu yerleştirilmiştir. Bu butonlar, acil durumlarda sürücü ve yolcuların güvenlik kaygılarını gidermek üzere tasarlanmıştır.

Son yıllarda ülkemizde taksi şoförlerine yönelik cinayet vakalarının artması, bu tür güvenlik önlemlerinin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. “**Taksi Akıllı Tepe Lambası**” entegrasyonu ile panik butonuna basıldığında, aracın üzerinde “**S.O.S Yardım**” ibaresi yanıp sönmeye başlayacak ve bu alarm, anında Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Merkez Ekranlarına bildirilerek yardım çağrısı olarak kaydedilecektir. Bu sistem, yalnızca güvenliği artırmakla kalmayıp, sürücülerin mesleği daha güvenli bir şekilde icra etmesini ve işlerine olan bağlılıklarını güçlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araçların kaza anında elde edilen görüntülerinin güvence altına alınması için gerekli sistem altyapısı oluşturulacaktır. Bu kapsamda, mevcutta kullanılan kamera kayıt cihazları, dokunmatik ekranlı ve Android işletim sistemine sahip olup, entegre kayıt özellikleri barındıran, çift kameralı ve G-sensör (ivmeölçer) özelliğine sahip modeller tercih edilmektedir. Bu cihazlar, kaza anında devreye giren IoT tabanlı G-sensör sayesinde, kazadan 1 dakika önce ve 1 dakika sonra elde edilen yol kamerası görüntülerini otomatik olarak sistem merkezine iletmektedir. Bu görüntüler, güvenlik amacıyla kurulacak merkez FTP sunucularında saklanarak, gerektiğinde inceleme ve analiz yapılabilmesi için koruma altına alınacaktır. Bununla taksi sürücülerinin güvenliği sağlanırken, sürüş sırasında meydana gelebilecek kazalarla ilgili verilerin güvenilir bir şekilde depolanması, sürüş kalitesinin dolaylı olarak iyileştirilmesine ve güvenlik standartlarının yükseltilmesine katkı sağlamaktadır.

**Yolcu seçme probleminin çözümü için geliştirilen modül:** Aracın üzerine yerleştirilen Akıllı Tepe Lambası, Taksimetre ve Araç (Taksi) Yönetim Cihazı arasındaki entegrasyonla sağlanmaktadır. Bu sistemde, sürücü tanıma yazılımı, taksimetreyi açtığı anda tepe lambasında otomatik olarak **"Dolu"** ibaresinin görünmesini sağlar. Araçta yolcu olmadığı durumlarda ise **"Boş"** ibaresi gösterilecektir. Bu entegrasyon, yolcu seçme ve kısa mesafeden kaçınma gibi yaygın şikayetlerin önüne geçmek amacıyla geliştirilmiştir. Sürücünün kişisel ihtiyaçları veya araç değişimlerini gerçekleştirebilmesi için, aynı gün içerisinde beş kez **"Servis Dışı"** modu kullanmasına olanak tanımıştır. Bu özellik, sürücünün ihtiyacı olduğunda aracın hizmet dışı olduğunu belirtmesini ve sistemin kayıtlarını buna göre güncellemesini sağlar. Bu sayede, kısa mesafe yolcu seçimi gibi sorunların zamanla kalıcı olarak çözülmesi hedeflenmektedir.



Şekil 16. Akıllı tepe lambası entegrasyonu sonrası tepe lambasının durum bilgisinin otomatik değişimi

**"Beni dolaştırdın"** şikayetlerinin önlenmesi amacıyla, sürücü tanıma yazılımı, araç takip sistemi ve taksimetre ile entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde, yolculuk boyunca aracın takip edilen güzergâhı ve trafik verileri otomatik olarak kaydedilmekte, böylece bu tür şikayetlerin minimuma indirilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, yolcuların da seyahat esnasındaki konumlarını ve izlenen güzergâhı takip edebilmeleri amacıyla, sürücü için geliştirilen uygulamanın bir benzeri, yolcular için de oluşturulmuştur. Yolcular, araç içindeki kare kodu okutarak aracın o anki konumunu ve izlediği rotayı canlı olarak takip edebilecek ve bu bilgileri yakınlarıyla paylaşabileceklerdir. Bu özellik, yolcu güvenliğini artırırken, hizmet kalitesini de iyileştirmektedir.



Şekil 17. Araçların anlık ve geçmişe dönük verileri izlenip raporlanma ekranı

**Bankacılık Ödeme Sistemleri Entegrasyonu** ile temassız ve sorunsuz ödeme imkânları sunulacak hem yerli hem de yabancı yolcular için güvenli bir ödeme altyapısı sağlanacaktır. Bu sistem, gasp gibi güvenlik sorunlarının azalmasına katkı sağlayacak olup, "ödeme yaptım, kabul edilmedi" gibi

anlaşmazlıkların önüne geçilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, turistlerin kandırılması, esnafa yönelik haksız suçlamalar ve tırnakçılık gibi yaygın problemler bu entegrasyon ile kökten çözüme kavuşturulabilecektir.

**Adaptif Sürücü Destek Sistemleri (ADAS)** ve ilgili sensörlere sahip bir Taksi Yönetim Cihazı seçilerek, taksi sürücülerinin dikkat seviyelerinin düştüğü anlarda onları güvenli sürüşe yönlendiren uyarılar verilecektir. Özellikle uzun çalışma saatleri veya stres nedeniyle dikkati azalan sürücülerin, şerit takibi ve öndeki araca fazla yaklaşma gibi durumlar için sistem tarafından sesli ve görsel uyarılar alması sağlanacaktır. Bu uygulama, kazaların önlenmesine önemli ölçüde katkı sağlayarak, ülke genelinde maddi hasarların azaltılması, sigorta maliyetlerinin düşürülmesi ve manevi yaraların önlenmesi gibi olumlu sonuçlar doğuracaktır.

Geliştirilen sistem, Türkiye genelinde yaklaşık 40.000 takside kurulu olan sürücü tanıma sisteminin IoT sensör ve donanımlarının teknik sağlık bilgilerini otomatik olarak takip edebilmekte ve izleyebilmektedir. Bu sayede, sistemde olası arızalar proaktif bir şekilde tespit edilerek ve önleyici bakım çalışmaları gerçekleştirilerek sistemin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde çalışması sağlanabilmektedir.



**Şekil 18.** İstanbul'da bulunan mevcut taksiler

Raporlama ve takip sistemi, her bir sürücüye özel olarak yapılabilmekte olup, her sürücünün hangi tarihlerde, hangi aracı ne kadar süreyle kullandığına dair bilgiler detaylı bir şekilde raporlanabilmekte ve canlı olarak izlenebilmektedir. Bu özellik, önerilen modelin sürücüler arasında güvenilir bir şekilde kimlik doğrulaması yapabileme kapasitesinin doğruluk oranının artmasını desteklemektedir.



**Şekil 19.** Sürücü tanıma sistemi ile sürücü takibi



Saha koşullarında modelin performansını değerlendirmek amacıyla, güncel AUS teknolojileri kullanılarak geliştirmeler yapılmıştır. Bu çerçevede, modele entegre edilen tüm uygulamalara yönelik bağımsız saha testleri ve global ölçekli uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Modelin güvenilirliğinin artırılması amacıyla, büyük veri kümeleri ve optimize edilmiş algoritmalar kullanılmıştır. Bu sayede, aşağıdaki faydalar sağlanmaktadır:

- Yolcu ve sürücünün güvenli bir şekilde taksiye binmesi ve inmesi kontrol edilmektedir.
- Taksi içerisinde meydana gelen hırsızlık, darp ve taciz gibi olayların aydınlatılması ve tespit edilmesi sağlanmaktadır.
- Araç içi hijyen ve diğer gereksinimler, elektronik ortamda uzaktan izlenip kontrol edilebilmektedir.
- Taksi sürücüsü ve yolcuların dış etkenler nedeniyle maruz kaldığı adli olayların tespiti ve aydınlatılması kolaylaştırılmaktadır.

Bu modelin temel amacı, bağımlılık testini geçemeyen, sağlık kontrollerini yaptırmamış, yüz kızartıcı suçlardan hüküm giymiş, adli sicil sınırlamaları devam eden, kurallara uymayan ve kayıtsız veya yetkisiz kişilerin araç sürmesini engelleme, yolcu ve sürücü güvenliği sağlayarak toplu taşımada güvenilir bir sistem oluşturmaktır.

Bu sistem modeli, teknolojik olarak güvenilirliği kanıtlanmış ve stabil çalışan IoT sensörleri ile AUS güvenlik teknolojilerini birleştiren, bütünlük ve sürdürülebilir bir donanım ve yazılım altyapısı içermektedir. İstanbul'da mevcut 20 000'den fazla taksiyi kapsayan bu sistemin sürdürülebilirliği ve etkin yönetimi için Gömülü Mobil Cihaz Yönetimi (MDM) altyapısının kurulması, cihazların uzaktan yönetimi ve sağlık kontrolleri açısından gereklidir.



Şekil 20. Entegrasyonlar sonrası sistem özeti

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada önerilen Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Sistemi Modeli, ülke genelindeki toplu ulaşım sistemlerinde sürücü güvenliği, hizmet kalitesi ve yolcu memnuniyetini artırmayı hedefleyen kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Modelin nihai amacı, Türkiye genelinde tüm toplu ulaşım sürücüleri için kapsamlı bir veri tabanı oluşturmak ve bu veri tabanına kayıtlı sürücülerin kullandığı tüm toplu ulaşım araçlarında uygulanmasını sağlamaktır. Bu sayede, Türkiye'deki tüm toplu ulaşım araçlarında hizmet kalitesi, güvenlik anlayışı ve konforun artırılması hedeflenmektedir. Modelin tüm toplu ulaşım araçlarında uygulanması, her bir araçta yalnızca lisanslı sürücülerin görev almasını sağlayacak ve kuralların ihlali veya haksız kazanç elde edilmesi durumunda cezai yaptırımların doğrudan araca değil, sorumlu sürücüye uygulanmasını mümkün kılacaktır. Bu yaklaşımın, hizmet veren araç sayısını artırarak sefer planlamalarındaki zorlukların giderilmesine ve toplu taşıma hizmetlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde sunulmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Türkiye Taksi Sürücü Tanıma Modelinin etkinliği ve faydaları, modelin yaygınlaştırılması ve diğer toplu ulaşım modlarına entegre edilmesiyle daha da artırılabilir. Modelin sadece taksilerle sınırlı

kalmayıp otobüs, minibüs, metro, tramvay gibi diğer toplu taşıma araçlarında da uygulanması, sistemin sürücüler için kullanım alanını genişletecektir. Bu entegrasyon, diğer toplu ulaşım modlarına uygun teknolojik altyapıların geliştirilmesini ve mevcut sistemlerle uyumlu hale getirilmesini gerektirecektir. Modelin tüm toplu ulaşım sürücülere tarafından kullanılması, hizmet kalitesi ve sektördeki gelişmişlik düzeyini önemli ölçüde artıracaktır.

Bu çalışmada geliştirilen yerli ve milli sürücü tanıma yazılımı, araç içi mobil kameralarla entegre edilerek sürücü kimliğini güvenli bir şekilde doğrulayabilme potansiyeline sahiptir. E-Devlet entegrasyonu sayesinde, sürücülerin otomatik olarak denetlenmesi ve ilgili denetim merkezlerinde gerekli alarmların oluşturulması da mümkün olacaktır. Ancak, bu potansiyelin tam olarak gerçekleştirilebilmesi için Taksi Yönetim Cihazı ve yazılımlarının doğru seçilmesi ve bu sistemlerin birbiriyle tam uyumlu ve stabil bir şekilde entegre edilmesi gerekmektedir. Sistemin başarısı, kullanılan teknolojilerin güvenilirliği, entegrasyonun sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmesi ve ilgili tüm paydaşların (sürücüler, yolcular, yetkililer) sisteme adaptasyonu ile yakından ilişkilidir.

Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen ve QR kod okutma ile dijital imza teknolojisi kullanılarak sisteme giriş yapmayı sağlayan Taksi Sürücü Tanıma Akıllı Cep Telefonu Yazılımı, toplu ulaşım sektöründe önemli bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır. Bu yazılıma bağlı olarak çalışan Taksi Sürücü Tanıma ve Denetim Sistemi ve entegre sensörler, yenilikçi teknolojilerin ve ileri düzey entegrasyonların bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu sistem, küresel ölçekte benzeri bulunmayan özgün bir yapıya sahiptir. Geliştirilen model, sadece sürücü ve yolcu güvenliğini artırmakla kalmayıp, kullanıcı deneyimlerini iyileştirerek toplu taşıma hizmetlerinin genel kalitesini de yükseltmeyi hedeflemektedir.

Önerilen adımların yerel yönetimler tarafından uygulanması, sistemin etkinliğini ve kullanımının yaygınlaşmasını sağlayabilir. Bu durum, toplu ulaşım sektöründe güvenlik ve verimlilik açısından önemli bir rol oynayarak, gelecekte ulaşım sistemlerinin dijitalleşme sürecine de katkı sağlayacaktır. Sistemin geniş kapsamlı uygulama alanları ve sağladığı çok yönlü faydalar göz önüne alındığında, toplu ulaşımında sürdürülebilir bir güvenlik ve denetim mekanizmasının oluşturulmasında önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

Çalışmada herhangi bir destek alınmamıştır. Teşekkür edilecek bir kurum veya kişi bulunmamaktadır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

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

### **Kaynakça**

**Bansal, P., Kockelman, K. M., ve Shaheen, S. A. (2019).** Ridesourcing's travel impacts: Evidence from the Austin Transportation Survey. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 245-259.

**Beijing Municipal Commission of Transport. (2020).** *Beijing Statistical Yearbook 2020*. Beijing Municipal Commission of Transport.

**Brihanmumbai Electric Supply and Transport. (2020).** *BEST Annual Report 2019-20*. Brihanmumbai Electric Supply and Transport.

**Cervero, R., ve Murakami, J. (2020).** Transit-oriented development and the shaping of sustainable urban mobility in the US and Japan. *Transport Reviews*, 40(1), 19-37.

- Chu, J., Li, P., Zhang, X., ve Yang, L. (2019).** A comprehensive review of driver monitoring systems: Current developments and future perspectives. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 4(3), 363-378.
- Clewlow, R. R., ve Zhu, Z. (2019).** Ride-hailing impacts on vehicle ownership and usage: Evidence from the Austin Transportation Survey. *Transportation*, 46(6), 2229-2252.
- Cohen, S. A., ve Gössling, S. (2015).** A darker side of destination branding: The exploitation of the taxi driver workforce in developing countries. *Journal of Destination Marketing ve Management*, 4(3), 144-150.
- Drahansky, M., Safarik, J., ve Brezinova, E. (2017).** Biometric identification using hand geometry. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 518-523.
- Frenken, K., ve Boschma, R. A. (2007).** A theoretical framework for evolutionary economic geography: Industrial dynamics and urban growth as a branching process. *Journal of Economic Geography*, 7(5), 635-649.
- Geurs, K. T., ve Van Wee, B. (2004).** Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140.
- Guo, G., Zhang, N., Mu, G., ve Fang, Y. (2016).** A deep learning based face recognition system for intelligent access control. In 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) (pp. 2466-2471).
- Huang, X., Xu, Z., Wang, Y., ve Wang, Z. (2018).** Research on intelligent vehicle driver recognition system based on face and speech recognition. In 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC) (pp. 1501-1506).
- İstanbul Ticaret Odası. (2020).** *İstanbul Ekonomik Raporu 2020*. İstanbul Ticaret Odası.
- Jain, A. K., Ross, A., ve Nandakumar, K. (2016).** *Introduction to biometrics*. Springer.
- Jin, Y., Wang, F., Erhardt, G. D., Burns, L. D., ve Newell, G. F. (2019).** Welfare impacts of ride-hailing–taxi competition. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 108-125.
- LeCun, Y., Bengio, Y., ve Hinton, G. (2015).** Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- Li, S. Z., ve Jain, A. K. (Eds.). (2011).** *Handbook of face recognition*. Springer.
- Litman, T. (2021).** *Evaluating Transportation Equity*. Victoria Transport Policy Institute.
- Loukaitou-Sideris, A., ve Banerjee, T. (2004).** *Retracking the urban: Public space, urban design, and culture*. Routledge.
- Moscow Department of Transport. (2020).** *Moscow Transport in Figures 2020*. Moscow Department of Transport.
- New York City Taxi and Limousine Commission. (2020).** *2020 TLC Fact Book*. New York City Taxi and Limousine Commission.
- OECD. (2019).** *Taxi regulation in OECD countries*. OECD Publishing.



**Ohm, P. (2010).** Broken promises of privacy: Responding to the surprising failure of anonymization. *UCLA Law Review*, 57, 1701.

**Pal, S., Nunez, J. C., Wang, Y., ve Bian, Z. (2020).** Driver attention monitoring system using computer vision and machine learning. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(6), 2450-2462.

**Préfecture de Police. (2020).** *Les taxis parisiens*. Préfecture de Police. Retrieved from <https://www.prefecturedepolice.interieur.gouv.fr/Demarches-et-documents/Professionnels/Taxis/Les-taxis-parisiens>

**Ratha, N. K., Connell, J. H., ve Bolle, R. M. (2001).** Enhancing security and privacy in biometrics-based authentication systems. *IBM Systems Journal*, 40(3), 614-634.

**Rayle, L., Shaheen, S., Chan, N. D., Dai, D., ve Cervero, R. (2016).** App-based, on-demand ride services: Comparing taxi and ridesourcing trips and user characteristics in San Francisco. *Transportation Research Record*, 2593(1), 118-126.

**Reynolds, D. A., Rose, R. C., ve Quatieri, T. F. (2000).** Speaker verification using adapted Gaussian mixture models. *Digital Signal Processing*, 10(1-3), 19-41.

**Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Teytelboym, A., ve Rich, J. (2019).** The geography of ride-hailing: Demand, regulation and the organization of work in the taxi industry. *Journal of Transport Geography*, 74, 225-236.

**Schroff, F., Kalenichenko, D., ve Philbin, J. (2015).** Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 815-823.

**Shaheen, S. A., Chan, N. D., Bansal, P., ve Cohen, A. P. (2018).** Shared mobility: Current practices and guiding principles. *International Transport Forum Discussion Paper*, No. 2018/17, OECD Publishing.

**Tektaş, N. ve Tektaş, M. (2022).** Milli Teknoloji Hamlesi. *Ulaşım da Milli Teknoloji Hamlesi: Akıllı Ulaşım Sistemleri*. Kacı, M. F., Şeker, M., Doğrul, M. <https://tuba.gov.tr/tr/yayinlar/suresiz-yayinlar/bilim-ve-dusunce/mill-teknoloji-hamlesi/ulasimda-milli-teknoloji-hamlesi-akilli-ulasim-sistemleri>

**Tokyo Metropolitan Government. (2020).** *Tokyo Statistical Yearbook 2020*. Tokyo Metropolitan Government.

**Tokyo Century Corporation. (2020).** Anzen Enshin Taxi System. <https://www.tokyocentury.co.jp/>

**Transport for London. (2020).** *Taxi and private hire vehicle statistics*. Transport for London.

**Vuchic, V. R. (2017).** *Urban transit: Operations, planning, and economics*. John Wiley ve Sons.

**Yang, H., Ye, J., ve Ma, T. (2018).** Taxi service system: A comprehensive review and prospects. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 589-612.

**Zhao, W., Chellappa, R., Phillips, P. J., ve Rosenfeld, A. (2003).** Face recognition: A literature survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(4), 399-458.

## Research Article

# Critical Connections: Enhancing Aviation Safety Through Network Analysis

Ayşe Aslı Yılmaz<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Atılım University, Civil Aviation School, Department of Pilot Training, Ankara, TURKEY

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

DOI: 10.51513/jitsa.1524747

**Abstract:** The objective of this study is to explore the influence of human factors on aviation accidents across different aircraft types using Network Analysis. This research specifically analyses centrality metrics to pinpoint the most influential errors, providing a more detailed understanding of their impact on aviation safety, while prior studies have acknowledged the role of human factors. The study employed Network Analysis using Python's NetworkX library. A dataset derived from The National Transportation Safety Board (NTSB) aviation accident database is used. Bipartite networks were constructed for each aircraft type, with nodes representing accidents and human error categories and edges indicating their relationships. The analysis revealed that pilot error consistently showed the highest degree centrality across all aircraft types, indicating its frequent involvement in accidents. Closeness centrality further highlighted the central role of pilot error, showing its significant influence on the network. The findings emphasized the critical importance of addressing pilot errors to improve aviation safety. While crew errors and other human errors were less frequent, their presence in the data suggested that a comprehensive safety strategy must also consider these factors. The results of this study demonstrate that pilot error is the most influential human factor in aviation accidents across various aircraft types. By focusing on targeted interventions such as enhanced pilot training and stricter safety protocols, the aviation industry can significantly reduce accident rates.

**Keywords:** Aviation Safety, Human Factors, Network Analysis, Centrality Metrics

## Kritik Bağlantılar: Ağ Analizi ile Havacılık Güvenliğini Artırmak

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, Ağ Analizi kullanarak farklı uçak tiplerinde insan faktörlerinin havacılık kazalarına etkisini incelemektir. Bu araştırma, daha önceki çalışmaların insan faktörlerinin rolünü kabul etmesine rağmen, merkezilik ölçümlerini analiz ederek en etkili hataları belirleyip, bu hataların havacılık emniyeti üzerindeki etkisini daha ayrıntılı bir şekilde anlamayı hedeflemektedir. Çalışmada Python'un NetworkX kütüphanesi kullanılarak Ağ Analizi yapılmıştır. Amerikan Ulusal Ulaştırma Emniyeti Kurulu (NTSB) havacılık kazası veri tabanından elde edilen bir veri seti kullanılmıştır. Her uçak tipi için iki modlu ağlar oluşturulmuş, düğümler kazaları ve insan hatası kategorilerini temsil ederken, kenarlar bu ilişkileri göstermektedir. Analiz, pilot hatasının tüm uçak tiplerinde en yüksek derece merkeziliğine sahip olduğunu ve kazalarda sıkça yer aldığını ortaya koymuştur. Yakınlık merkeziliği, pilot hatasının ağ üzerindeki önemli etkisini vurgulayarak merkezi rolünü daha da öne çıkarmıştır. Bulgular, havacılık emniyetini arttırmak için pilot hatalarının ele alınmasının kritik önemini vurgulamaktadır. Uçuş ekibi hataları ve diğer insan hataları daha az sıklıkta görülmesine rağmen, verilerdeki varlıkları kapsamlı bir emniyet stratejisinin bu faktörleri de dikkate alması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, pilot hatasının çeşitli uçak tiplerinde havacılık kazalarındaki en etkili insan faktörü olduğunu göstermektedir. Hedeflenmiş müdahaleler, örneğin geliştirilmiş pilot eğitimi ve daha sıkı emniyet protokolleri gibi uygulamalara odaklanarak, havacılık endüstrisi kaza oranlarını önemli ölçüde azaltabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Havacılık Emniyeti, İnsan Faktörleri, Network Analizi, Merkezilik Ölçüleri

\* Corresponding author.

E-mail address: [yilmazayseasli@gmail.com](mailto:yilmazayseasli@gmail.com)

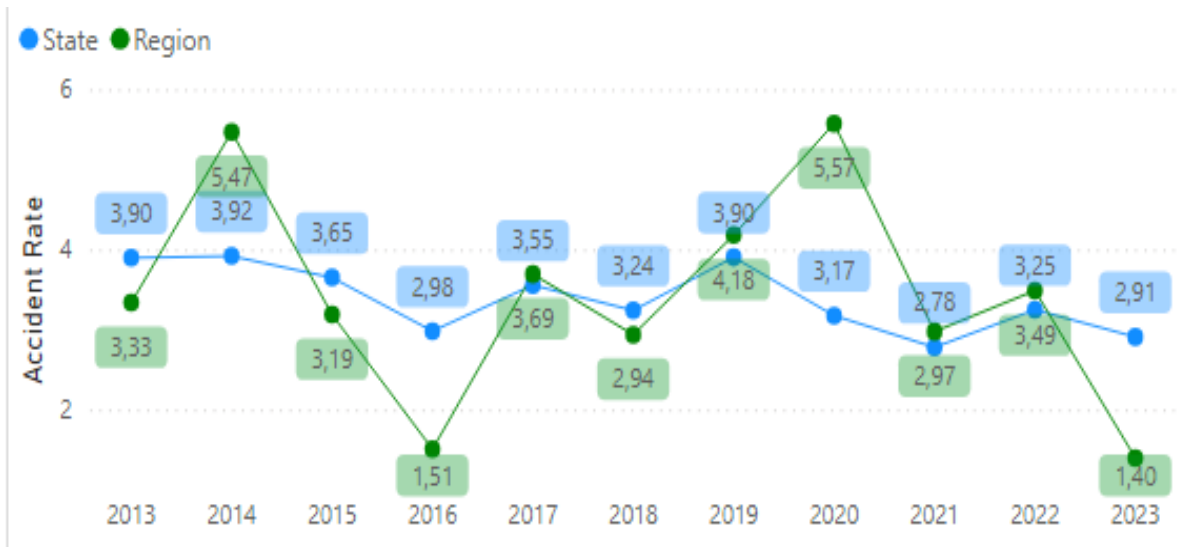
ORCID: 0000-0003-1784-7307

Received 30.07.2024; Received in revised form 17.09.2024; Accepted 14.10.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University. This work is licensed under CC BY NC 4.0.

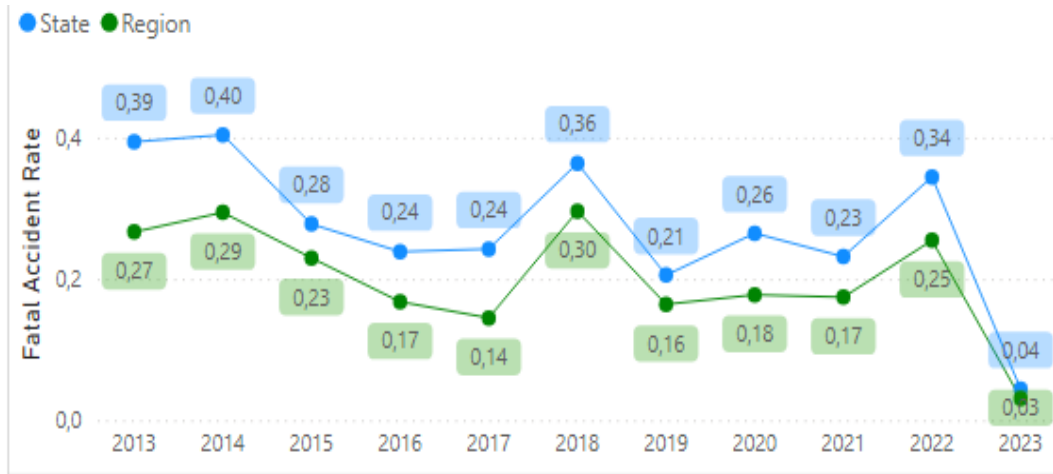
### 1.Introduction

Aviation safety remains a paramount concern within the aviation industry, given the potentially catastrophic consequences of accidents (Davies, 2014). Despite significant advancements in technology and the implementation of stringent regulatory measures, human error continues to play a critical role in aviation incidents. Understanding the intricate relationships between various human factors and aviation accidents is essential for developing effective interventions to enhance safety (Bellamy, 2017). This study employs Network Analysis, leveraging Python's NetworkX library, to provide a detailed examination of how human factors influence aviation accidents across different aircraft types. By constructing bipartite networks, it is explored the complex connections between accidents and human error categories, such as pilot error, crew error, and other systemic errors. This approach allows for the identification of the most critical human errors that cause accidents, thereby offering valuable insights for targeted safety interventions. The dataset utilized in this study is derived from the National Transportation Safety Board (NTSB) aviation accident database, which encompasses records of civil aviation accidents and selected incidents from 1962 to the present. This extensive dataset provides a comprehensive view of aviation safety over several decades, covering incidents within the United States, its territories, and international waters. The data is meticulously cleaned and categorized to facilitate a robust analysis of human error impacts. The ICAO accident statistics for the period 2013-2023 reveal significant advancements in global aviation safety. The following figures provide an overview of accident rates and fatal accidents over the years, comparing regional and global trends (ICAO,2024).



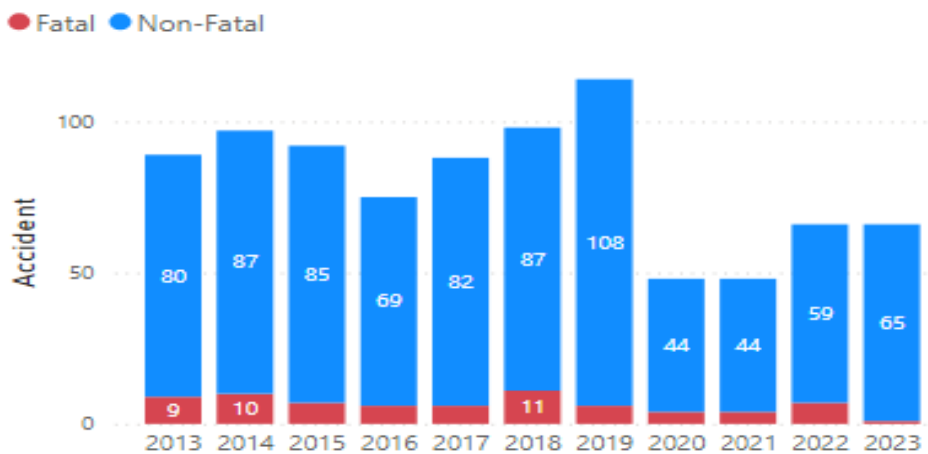
**Figure 1.** Accident Rate by Year for World Average

Figure 1 illustrating the accident rate by year for the world average, shows fluctuations with peaks in 2015 and 2019. Accident rates were particularly high during these years for both state and regional data. However, a significant downward trend is observed from 2021 to 2023, with the state accident rate declining to 2.91 and the regional rate dropping to 1.10 in 2023. This reflects a marked improvement in safety measures globally.



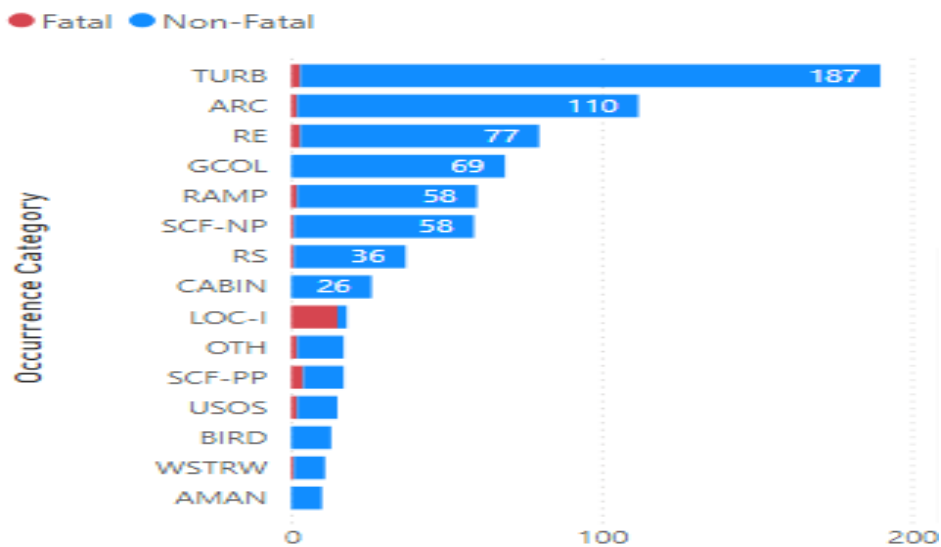
**Figure 2.** Fatal Accident Rate by Year for World Average

Figure 2 displays the fatal accident rate by year for the world average. A steady decrease is visible over time, with fatal accidents reaching their lowest levels in 2022. While the 2023 state fatal accident rate rose slightly to 0.34, the regional rate remained low at 0.04. This overall trend demonstrates ongoing improvements in aviation safety, although the slight increase in 2023 fatal accidents suggests that continuous monitoring and enhancement of safety practices are still necessary.



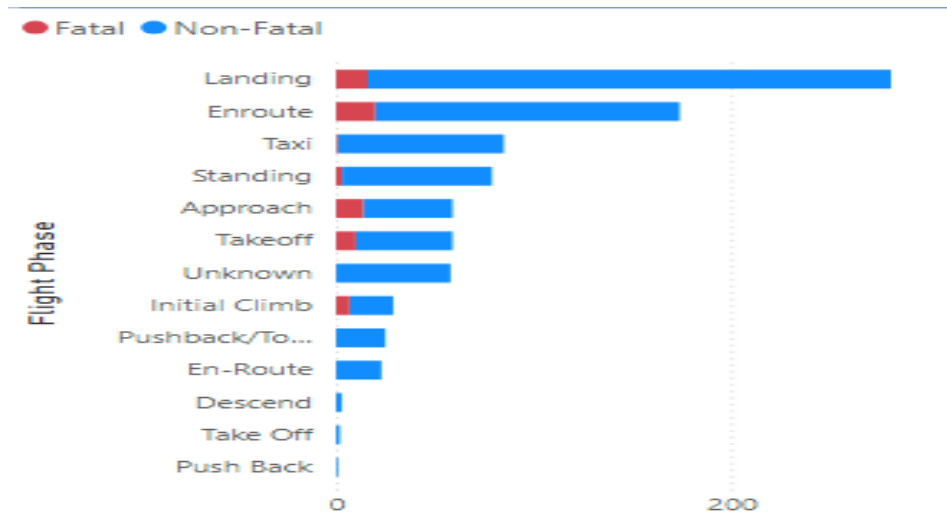
**Figure 3.** Accidents By Year For World

Figure 3 the bar graph shows the total number of fatal and non-fatal accidents globally from 2013 to 2023. The non-fatal accidents (blue bars) represent the majority of incidents each year, while fatal accidents (red bars) remain relatively low but consistent. In 2019, there was a significant increase in the total number of accidents, with 108 non-fatal and 11 fatal accidents, marking the highest year in the period. After 2019, there is a clear reduction in both fatal and non-fatal accidents, with 2020 and 2021 each recording only 44 non-fatal and 4 fatal accidents. However, there is a slight rise again in 2023, with 65 non-fatal and 6 fatal accidents. This figure highlights the overall decrease in accident numbers after 2019, suggesting improvements in safety, though the recent uptick in 2023 may warrant further analysis.



**Figure 4.** Accidents by Occurrence Category

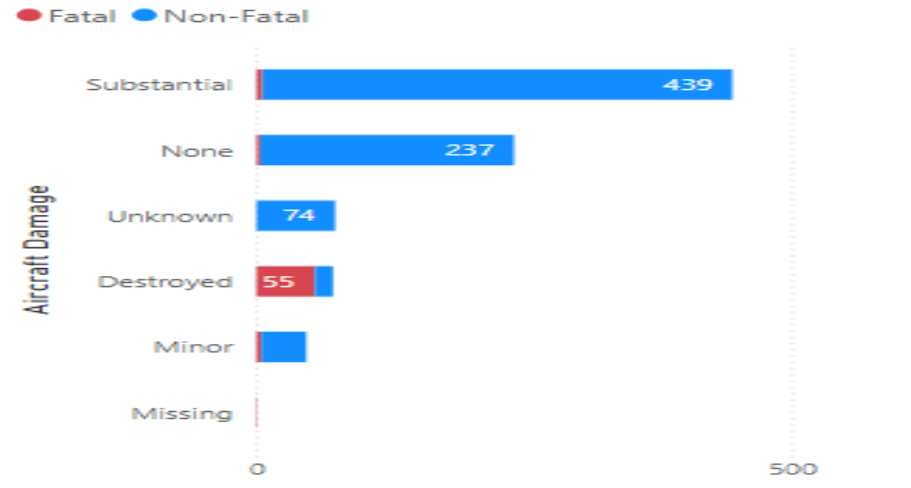
Figure 4 categorizes aviation accidents based on the type of occurrence, with non-fatal (blue) and fatal (red) accidents differentiated for each category. The most common occurrence is related to Turbulence (TURB), with 187 non-fatal incidents and no recorded fatal accidents, followed by Abnormal Runway Contact (ARC), which accounts for 110 non-fatal incidents. Runway Excursion (RE) and Ground Collision (GCOL) are also notable, with 77 and 69 non-fatal accidents, respectively. Fatal accidents, though less frequent, are evident in categories like Loss of Control In-Flight (LOC-I) and Other Occurrences (OTH), both showing small red bars. Other significant non-fatal occurrences include RAMP, System/Component Failure Non-Powerplant (SCF-NP), and Runway Safety (RS), all having over 50 incidents. The graph underscores that while certain incidents, like turbulence and runway-related occurrences, are common, they rarely result in fatalities, whereas more critical occurrences, like in-flight control loss, lead to higher fatal outcomes despite their lower frequency.



**Figure 5.** Accidents by Flight phase

Figure 5: This bar graph breaks down accidents by flight phase, highlighting both non-fatal (blue) and fatal (red) incidents. The majority of accidents occur during the Landing phase, with a significant number of non-fatal accidents and a smaller proportion of fatal accidents. The Enroute phase also shows a notable number of both non-fatal and fatal accidents, followed by phases like Taxi, Standing, and Approach, which are predominantly non-fatal.

While Landing and Enroute are the most accident-prone phases, fatal accidents are more distributed across different flight phases. Initial Climb and Takeoff have fewer total accidents, but they include fatal outcomes, indicating that while these phases see fewer incidents, they are often more severe when they occur. This graph emphasizes that the majority of accidents occur during less critical flight phases, with landing being particularly high-risk, though the risk of fatality is more spread across different stages of flight.



**Figure 6.** Accidents by Aircraft Damage

Figure 6 categorizes aviation accidents based on the extent of aircraft damage, differentiating between non-fatal (blue) and fatal (red) incidents. The majority of accidents resulted in Substantial aircraft damage, with 439 non-fatal incidents recorded, while Destroyed aircraft, which include both non-fatal and fatal outcomes, account for 55 incidents. A notable portion of incidents (237) involved No Damage to the aircraft, emphasizing that not all accidents result in physical damage. Additionally, there are 74 incidents where the extent of damage is Unknown. The graph highlights that Minor damage is relatively uncommon and does not involve fatal accidents, while Missing aircraft are extremely rare. Overall, the figure illustrates that most accidents lead to substantial damage, but only a smaller fraction results in the destruction of the aircraft, which is more likely to be associated with fatalities. The critical role of human factors in aviation maintenance and the impact of various elements such as psychological, physical, and environmental conditions on safety and operational efficiency is needed to focused on (FAA, 2024).



**Figure 7.** Human factors and how they affect people are very important to aviation maintenance(FAA,2024).

Figure 7 highlights the importance of human factors in aviation maintenance, emphasizing how various psychological and physical aspects affect performance. Key factors such as mental and emotional states, physical condition, and environmental conditions all play a crucial role in influencing maintenance personnel's ability to perform tasks safely and effectively. Human capabilities and limitations, along with the interaction between individuals and machines, further impact their operational efficiency. The

figure underscores the need to consider these diverse elements to minimize errors and enhance overall safety in aviation maintenance (FAA,2024)

Previous research in aviation safety has often focused on individual aspects of human error or specific types of aircraft (Federal Register, 2014). However, this study extends the scope by incorporating a broader range of aircraft types, including commercial jets, general aviation, helicopters, and others. By doing so, it provides a more holistic understanding of how different human factors impact aviation safety across various contexts. Centrality metrics, particularly degree centrality, are calculated to determine the most influential human factors in the network. Pilot error consistently emerges as the most critical node across all aircraft types, highlighting its frequent involvement in accidents and significant influence on the network. These findings underscore the necessity of addressing pilot errors through enhanced training programs and stricter safety protocols. Visualizations produced from the network graphs and bar charts offer clear and compelling representations of the data, illustrating the dominant role of pilot error and the relationships between various human error categories and accidents. These visual insights are crucial for guiding effective safety interventions and policy decisions. The significance of this study lies not only in identifying key human errors but also in providing a methodological framework that can be applied to other areas of aviation safety research. By utilizing Network Analysis, this research moves beyond traditional statistical methods, offering a more dynamic and interconnected view of how human factors cause to aviation accidents.

## 2.Literature Review

Aviation accidents and incidents, which are usually caused by human error, technical malfunctions, weather conditions or other factors, are important issues in terms of flight safety. Definitions of accidents and incidents can be given Aviation accidents, while rare, can have catastrophic consequences, making their prevention a top priority for the aviation industry (Shappell et al., 2007).The infrequency of these accidents should not overshadow their potential impact, which can result in significant loss of life, economic costs, and damage to public confidence in air travel(Dismukes & Nowinski, 2007).As such, understanding the human factors involved in these accidents is essential for developing effective safety interventions and enhancing overall aviation safety (Li & Harris, 2006). Human factors refer to the myriad elements that influence human performance, including cognitive, physiological, psychological, and social aspects (Li et al., 2006). In aviation, these factors play a crucial role at every stage of flight operations, from pre-flight planning and in-flight decision-making to post-flight procedures and maintenance activities (Rebok et al., 2009). The complexity of modern aviation systems means that even minor human errors can lead to serious incidents if not properly managed (Shappell & Wiegmann, 2004). This complexity underscores the need for a comprehensive understanding of how human factors cause accidents (Bishop, 2018). Pilot error remains a critical factor in aviation accidents, and understanding why these errors occur is essential for improving aviation safety. Recent studies highlight that specific operational contexts, flight phases, and pilot demographics significantly influence the likelihood of errors. For example, Bazargan et al. (2022) found that pilot stress and fatigue levels increase during critical flight phases such as landing and take-off, leading to a higher probability of errors. Similarly, Eyre and Stanton (2021) noted that less experienced pilots are more prone to mistakes in complex operational situations.

Regarding the impact of automation in modern cockpits, recent research has shown that advanced automation can negatively affect pilots' situational awareness, with over-reliance on automated systems increasing the likelihood of errors (Groom et al., 2023). This underscores the importance of providing pilots with adequate training on when and how to intervene in automated processes.

Furthermore, recent findings on Crew Resource Management (CRM) highlight its critical role in addressing human factors. Williams and Jackson (2022) emphasized that CRM training significantly enhances pilots' communication skills, decision-making abilities, and teamwork, thereby reducing error rates.



## **2.1. Pilot Error**

Pilot error is widely acknowledged as a significant cause of aviation accidents. Studies by Gatta (2018) emphasize the impact of cognitive errors, situational awareness, decision-making processes, and the stressors faced by pilots. Research has shown that pilot error can stem from various sources such as miscommunication, procedural non-compliance, and inadequate training (ICAO,2019). Moreover, Leclerc (2007) discuss how decision-making under stress and high workload can significantly impair pilot performance, leading to errors.

## **2.2. Crew Resource Management**

Crew Resource Management (CRM) has been introduced as a critical training program aimed at reducing human error by enhancing team coordination, communication, and decision-making among crew members (Winter et al.,2020). CRM training effectively reduces incidents caused by crew error by fostering a culture of teamwork and communication within the cockpit (Ison, 2005). Subsequent studies have confirmed the positive impact of CRM on safety, indicating improvements in both technical and non-technical skills among aviation professionals (Dingus et al. 2006).

## **2.3. Maintenance and Organizational Factors**

Beyond pilot and crew errors, maintenance and organizational factors also play significant roles in aviation safety (Molesworth et al., 2015). The maintenance errors often result from poor communication, inadequate documentation, and lack of proper training (Causse et al., 2013). Furthermore, the organizational culture, including management practices and safety protocols, significantly influences human performance and the likelihood of errors (Liu et al.,2013). The importance of a positive safety culture in reducing maintenance-related incidents(Rashid et al., 2010).

## **2.4. Network Analysis in Aviation Safety**

Network Analysis has emerged as a powerful tool for understanding the complex relationships between various factors cause to aviation accidents (Al-Taie & Kadry, 2017). Borgatti et al. (2009) described how network centrality metrics can be used to identify influential nodes within a network, providing insights into critical points of failure. This methodological approach allows for a comprehensive analysis of how different human factors interact and cause to aviation accidents (Beers, 2022).

## **2.5. Bipartite Networks**

Bipartite networks, a specific type of network structure, are particularly effective in modelling relationships between two distinct sets of entities, such as accidents and human error categories (Betweenness Centrality, 2022). In bipartite networks, nodes are divided into two disjoint sets where connections only occur between nodes of different sets, not within the same set (Borgatti et al., 2009). This structure is ideal for visualizing and analysing the direct connections between human errors and aviation accidents, allowing for a more detailed understanding of how specific errors cause to incidents (Blondel et al., 2008).

## **2.6. Centrality Metrics in Network Analysis**

Centrality metrics such as degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality are essential for identifying key contributors to network dynamics (Budriene & Diskiene, 2020). These metrics is introduced to quantify the importance of nodes in a network (Borgatti, 2005). Degree centrality measures the number of direct connections a node has, indicating its immediate influence (Borgatti & Foster, 2003). Closeness centrality assesses how quickly a node can interact with all other nodes, reflecting its overall integration within the network (Bounfour,2016). Betweenness centrality identifies nodes that act as bridges, highlighting their role in connecting different parts of the network.

## **2.7. Application of Network Analysis to Human Factors**

Applying network analysis to human factors in aviation accidents provides a novel perspective on identifying critical errors and intervention points(Al-Taie & Kadry, 2017).Network analysis to examine the interactions between human errors and aircraft systems, revealing key nodes that, when targeted, could significantly enhance safety outcomes (NetworkX, 2022).This approach allows for the

visualization and quantification of complex interactions, offering a more holistic understanding of aviation safety (Beers, 2022). The existing body of research underscores the multifaceted nature of human factors in aviation accidents. From pilot and crew errors to maintenance and organizational influences, a comprehensive understanding of these elements is essential for improving aviation safety. Network analysis, particularly with bipartite networks, offers a valuable methodological approach to unravel these complex relationships, providing actionable insights for targeted interventions (Bounfour, 2016). Future studies should continue to expand on this framework, integrating larger datasets and exploring additional human factors to further enhance aviation safety.

### 3. Methodology

This study employs Network Analysis using Python's NetworkX library to investigate the influence of human factors on aviation accidents across different aircraft types. The dataset is sourced from the NTSB aviation accident database, which includes records of civil aviation accidents and selected incidents from 1962 to the present. Initially, the dataset is cleaned and prepared by categorizing probable causes of accidents into specific human error types: pilot error, crew error, and other human errors. Accidents were further classified by aircraft types such as commercial jets, general aviation, and helicopters.

For each aircraft type, a bipartite network is constructed using NetworkX, with nodes representing accidents and human errors, and edges denoting the relationships between them (Betweenness Centrality, 2022). Centrality metrics—degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality—were calculated for each network using NetworkX functions to identify the most influential human factors (Blondel et al., 2008). Degree centrality measures the number of direct connections a node has, indicating its immediate influence within the network (Borgatti, 2005). Closeness centrality assesses the node's overall integration by measuring how quickly it can interact with all other nodes (Borgatti & Foster, 2003). Betweenness centrality highlights nodes that act as bridges, connecting different parts of the network (Budriene & Diskiene, 2020). These metrics provide insights into the critical human errors causing to accidents across various aircraft types, guiding targeted interventions for improving aviation safety.

#### 3.1. Bipartite Network Construction Process

This study utilized NetworkX to construct bipartite networks, representing accidents and human errors as two distinct node sets. Nodes were added using the `add_node()` function, and relationships between accidents and human errors were established with `add_edge()`, forming the bipartite structure.

##### 3.1.1. Centrality Metrics Analysis

Key centrality metrics—degree, closeness, and betweenness—were computed using NetworkX functions to identify influential human errors. Degree centrality measured direct connections (accidents to errors), closeness assessed node integration within the network, and betweenness identified nodes acting as bridges. The flow diagram overview offers a streamlined summary of the bipartite network construction process. This step-by-step outline clarifies the key stages involved, from initial data preparation to the final analysis, ensuring a comprehensive understanding of how human factors were integrated into the network analysis.

##### *Flow Diagram Overview*

- *Data Preparation:* NTSB dataset cleaned.
- *Node Definition:* Accidents and errors added as separate nodes.
- *Edge Establishment:* Accident-error relationships defined.
- *Centrality Calculation:* Degree, closeness, and betweenness metrics computed.
- *Analysis:* Human error impacts assessed.

#### 3.2. Data Source and Preparation

The dataset used in this study is derived from the NTSB aviation accident database, which includes records of civil aviation accidents and selected incidents from 1962 to the present within the United States, its territories and possessions, and in international waters. This comprehensive data repository is

crucial for understanding trends and patterns in aviation safety and can be accessed from the Database. The dataset encompasses detailed records of aviation accidents, including information on the associated probable causes. Each accident is identified by a unique NTSB node and linked to specific human errors such as pilot error, crew error, and other human errors. The process of preparing the data for analysis involved several key steps to ensure a thorough and accurate investigation of the human factors causing to aviation accidents. The first step involved categorizing the probable causes of each accident into distinct human error types. This categorization is essential for identifying common patterns and trends across different types of errors.

**Table 1.** Aviation Accident Data Categories and Weights

Category	Description	Weight
Pilot Error	Errors made by the pilot in command, such as decision-making mistakes, failure to follow procedures, or mishandling of the aircraft.	30%
Crew Error	Mistakes made by other members of the flight crew, including communication failures, coordination issues, or incorrect execution of tasks.	20%
Other Human Error	Errors made by individuals other than the flight crew, such as maintenance personnel, air traffic controllers, or ground staff.	15%
Commercial Jets	Large passenger aircraft used for scheduled airline services.	25%
General Aviation	Smaller aircraft used for private, corporate, or instructional purposes.	5%
Helicopters	Rotary-wing aircraft used for a variety of purposes including transport, medical evacuation, and law enforcement.	3%
Others	Cargo planes, military aircraft, and specialized aviation operations.	2%

The Aviation Accident Data Categories and Weights Table1 provides a detailed breakdown of how different human error categories and aircraft types cause to aviation accidents, with corresponding weights indicating their relative significance. The first part of the table focuses on human error categories. Pilot error, assigned a weight of 30%, emerges as the most critical factor, suggesting that mistakes made by the pilot in command significantly impact accident rates. These errors may involve poor decision-making, not following standard operating procedures, or mishandling the aircraft. Crew error, weighted at 20%, is also a considerable factor, reflecting errors by other flight crew members such as the co-pilot or cabin crew.

These errors often stem from communication failures or poor task coordination, affecting flight safety. The category of other human errors (15%) includes mistakes by individuals who are not part of the flight crew, such as air traffic controllers, maintenance staff, or ground personnel. While these errors cause less compared to pilot and crew errors, they still play a significant role in certain accidents. The second part of the table addresses the types of aircraft involved in accidents. Commercial jets have a weight of 25%, highlighting their prominence in the accident database, with human errors being particularly impactful in large passenger aircraft used for scheduled airline services. In contrast, general aviation, with a weight of 5%, and helicopters, with a weight of 3%, show a relatively lower incidence of accidents caused by human error. This could suggest that different operational contexts and flight environments may affect the frequency and type of errors associated with these aircraft. Finally, the Others category (2%) includes specialized aircraft like cargo planes and military aircraft, indicating a smaller role for human error in accidents involving these types. Overall, the table shows that pilot and crew errors are the most prevalent causes of aviation accidents, especially in commercial jets. Interventions aimed at reducing human errors, particularly for pilots and flight crews, could lead to significant improvements in aviation safety. Additionally, the lower contribution of human errors in general aviation and helicopters suggests that different safety strategies might be required for those sectors.

#### **4.Results**

The analysis of centrality metrics for nodes in aviation networks, categorized by aircraft types—commercial jets, general aviation, and helicopters—reveals significant insights into the influence of human factors on aviation accidents. The study highlights pilot error as a pivotal factor, consistently showing high degree and closeness centrality across all aircraft types, indicating its frequent and central role in accidents. Network graphs and bar charts further illustrate these relationships, emphasizing the need for targeted interventions to address pilot-related issues and enhance overall aviation safety. This introductory section sets the stage for a deeper exploration of the centrality metrics and their implications for each aircraft type, guiding efforts to mitigate human errors and improve safety practices.

A detailed analysis of the centrality metrics for nodes in networks categorized by different aircraft types, namely commercial jets, general aviation, and helicopters are presented. The centrality metrics—degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality—were calculated to understand the influence of different human factors on aviation accidents.

The results highlight the pivotal role of pilot error across various aircraft types. With consistently high degree and closeness centrality values, pilot error emerges as a frequent and critical cause of aviation accidents. This underscores the need for targeted interventions to address pilot-related issues to enhance aviation safety. Network graphs and bar charts were also created to visualize the relationships between accidents and human errors. These visualizations provide a clear illustration of the relative influence of different human error types on accidents, aiding in identifying key areas for improvement in aviation safety practices. In the subsequent sections, it is focused on the specifics of these centrality metrics, interpreting the results for each aircraft type, and present the visualizations that complement this analysis.

##### **4.1. Centrality Metrics Interpretation by Aircraft Type:**

A detailed analysis of the centrality metrics for nodes within networks categorized by different aircraft types is provided. The tables below present the degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality values for various nodes in each aircraft type network, emphasizing the critical role of pilot error, crew error, and other human errors. This analysis enhances our understanding of the interconnectedness and relative importance of different human error types in aviation safety, guiding targeted interventions to mitigate these risks.

**Table 2.** Centrality Metrics on Commercial Jets

<b>Node</b>	<b>Degree Centrality</b>	<b>Closeness Centrality</b>	<b>Betweenness Centrality</b>
<b>CJ_Acc1</b>	0.2	0.375	0.0
<b>CJ_Acc2</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Pilot Error</b>	0.6	0.6	0.1
<b>Crew Error</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Other Human Error</b>	0.2	0.375	0.0

In the network analysis as seen Table2 of commercial jets, pilot error emerges as the most connected node, with a degree centrality of 0.6, indicating its frequent appearance in accidents. Its high closeness centrality of 0.6 further underscores its central role within the network, influencing many accidents. Additionally, a betweenness centrality of 0.1 suggests that pilot error acts as a critical connector between different parts of the network. On the other hand, individual accidents such as CJ\_Acc1 and CJ\_Acc2 have a degree centrality of 0.2, showing they are connected to only one human error category, and their lower closeness centrality of 0.375 indicates a less central position within the network. Similarly, crew error and other human errors also have a degree centrality of 0.2, reflecting their less frequent occurrence compared to pilot errors, and a lower closeness centrality of 0.375, indicating their peripheral roles within the network.

**Table 3.** Centrality Metrics on General Aviation

<b>Node</b>	<b>Degree Centrality</b>	<b>Closeness Centrality</b>	<b>Betweenness Centrality</b>
<b>GA_Acc1</b>	0.2	0.375	0.0
<b>GA_Acc2</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Pilot Error</b>	0.6	0.6	0.1
<b>Crew Error</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Other Human Error</b>	0.2	0.375	0.0

In the network analysis as seen Table3 of general aviation, pilot error consistently exhibits the highest degree centrality at 0.6, indicating its frequent connection to accidents. Its high closeness centrality of 0.6 further highlights its central role within the network, while a betweenness centrality of 0.1 underscores its function as a key connector between different parts of the network. Individual accidents, such as GA\_Acc1 and GA\_Acc2, have a degree centrality of 0.2, indicating each is connected to a single human error category, and their closeness centrality of 0.375 shows they are less central within the network. Similarly, crew error and other human errors also have a degree centrality of 0.2, reflecting their less frequent involvement in accidents compared to pilot error, and a closeness centrality of 0.375, indicating their peripheral positions within the network.

**Table 4.** Centrality Metrics on Helicopters

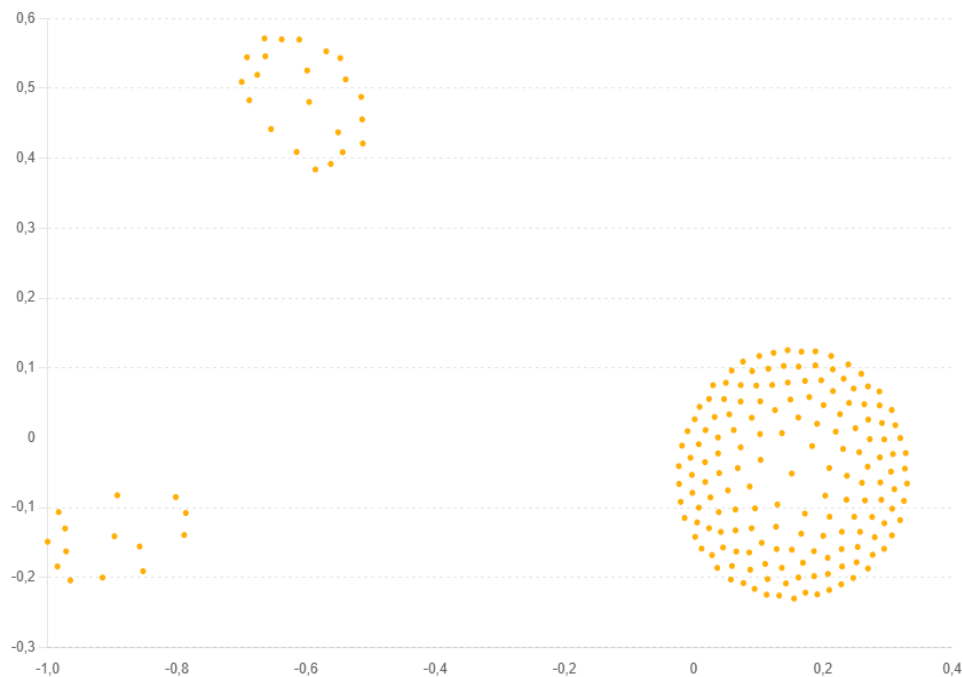
<b>Node</b>	<b>Degree Centrality</b>	<b>Closeness Centrality</b>	<b>Betweenness Centrality</b>
<b>H_Acc1</b>	0.2	0.375	0.0
<b>H_Acc2</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Pilot Error</b>	0.6	0.6	0.1
<b>Crew Error</b>	0.2	0.375	0.0
<b>Other Human Error</b>	0.2	0.375	0.0

In the network analysis of Table4 of helicopters, pilot error again stands out with the highest degree centrality of 0.6, indicating its frequent connection to helicopter accidents. Its high closeness centrality of 0.6 further emphasizes its central role within the network, influencing many nodes, while a betweenness centrality of 0.1 highlights its role as a critical connector. Individual accidents, such as H\_Acc1 and H\_Acc2, each have a degree centrality of 0.2, connected to only one human error category, and their closeness centrality of 0.375 shows they are less central within the network. Similarly, crew

error and other human errors also have a degree centrality of 0.2, indicating their infrequent connection to multiple accidents, and a closeness centrality of 0.375, suggesting they are less integrated within the network.

The tables provided detail the centrality values for various nodes within each aircraft type network, underscoring the critical roles of pilot error, crew error, and other human errors. This analysis enhances our understanding of the interconnectedness and relative importance of different human error types in aviation safety, thereby guiding targeted interventions to mitigate these risks. By calculating degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality, it is gained a comprehensive understanding of the roles and importance of different nodes within the network of aviation accidents and human errors. This analysis identifies the most influential human factors contributing to accidents and informs targeted interventions to improve aviation safety. The results consistently highlight the critical role of pilot error across various aircraft types, suggesting that efforts to mitigate pilot errors could significantly enhance aviation safety.

Bipartite network graphs were created for each aircraft type to visualize the relationships between accidents and human errors. In these graphs shown below, nodes represent either accidents or human error categories, and edges denote the connections between them. The detailed interpretation of each graph reveals distinct clusters and patterns, providing further insights into how different human errors influence accidents across various aircraft types. These visualizations offer a clear and comprehensive illustration of the relative influence of different human error types on accidents, aiding in the identification of key areas for improvement in aviation safety practices.



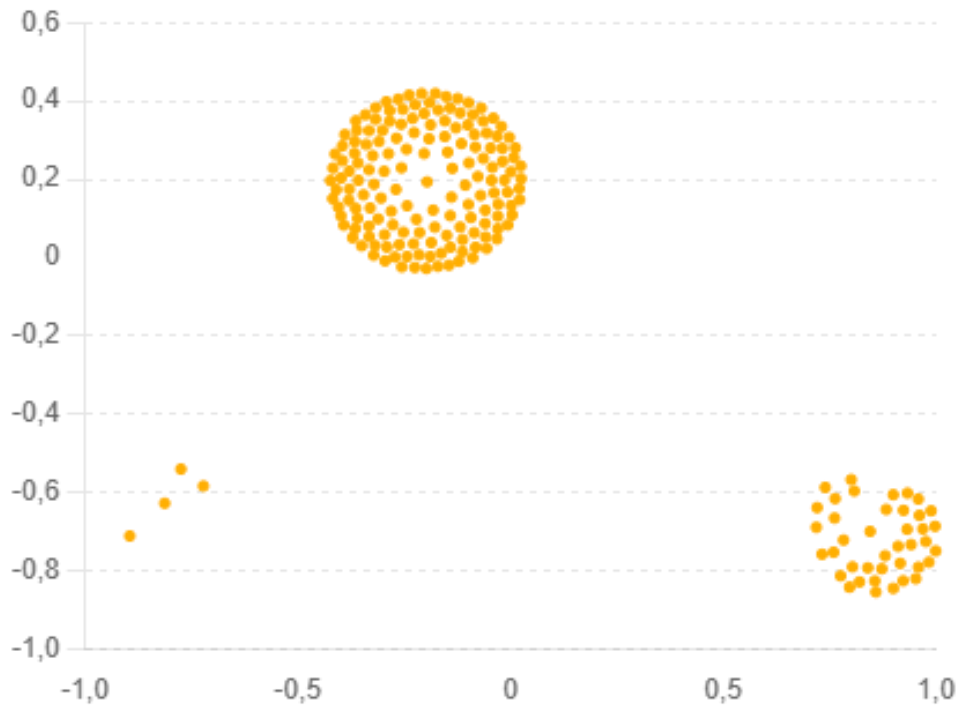
**Figure 8.** Bipartite Network Graph for Commercial Jet

Figure 8 the bipartite network graph for commercial jets, exhibits two distinct clusters of nodes, each forming a dense circular or elliptical shape. One prominent cluster is in the upper left quadrant, while a smaller cluster appears towards the lower right quadrant. The densely packed region in the upper left cluster likely represents many commercial jet accidents associated with common human error categories. This tight grouping indicates that these accidents are influenced by similar factors, such as pilot error or procedural issues.

The smaller cluster in the lower right suggests a group of accidents connected to less frequent or unique human error categories. These may include rare incidents or specific types of crew errors that are not as common as those in the larger cluster. The clear separation between the clusters implies a distinction

between different sets of accidents and their causes, pointing to differences in operational contexts, types of commercial jet operations, or variations in how human errors manifest in these scenarios.

The dense clustering highlights the need for targeted safety interventions focused on the most common human errors in commercial jet operations. Meanwhile, the distinct smaller cluster suggests that, while less frequent, certain human error types still play a critical role and require specialized attention to mitigate their impact.



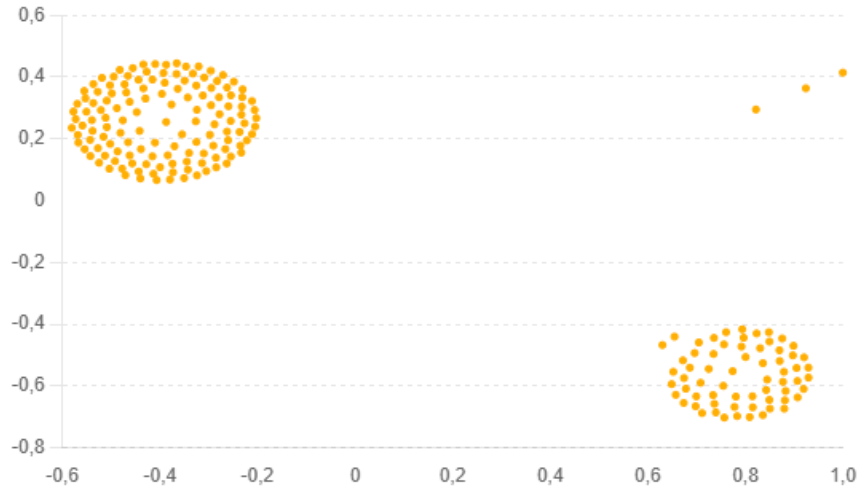
**Figure 9.** Bipartite Network Graph for General Aviation

Figure 9, the bipartite network graph for general aviation, also features two primary clusters of nodes. The main cluster forms a circular shape in the lower left quadrant, representing a high number of general aviation accidents connected to various human error categories. The dense grouping indicates that these accidents share common factors, possibly related to pilot training, aircraft maintenance, or operational procedures in general aviation.

In contrast, a smaller cluster is located towards the upper right quadrant, likely representing accidents linked to less common human error categories. These may include specific incidents related to rare operational circumstances or unique factors not commonly seen in general aviation. The clustering of nodes underscores the commonality of certain human errors in general aviation, suggesting a need for focused safety measures in areas such as pilot training and aircraft maintenance.

The presence of the smaller cluster indicates the importance of addressing unique or rare human errors that, while less frequent, still cause to general aviation accidents. This emphasizes the need for comprehensive safety interventions that not only target the most common errors but also consider the impact of less frequent, yet significant, human errors.





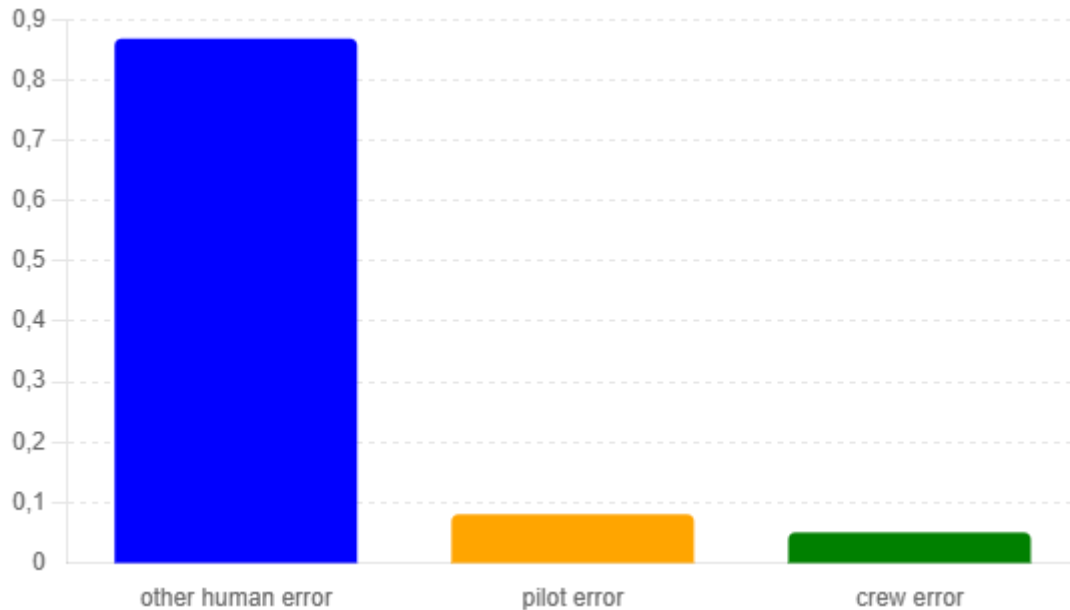
**Figure 10.** Bipartite Network Graph for Other

Figure 10, the bipartite network graph for the "other" aircraft type category, reveals two primary clusters of nodes. One densely packed cluster is in the lower right quadrant, representing a significant number of accidents connected to various human error categories. This dense clustering indicates common human error factors affecting a wide range of diverse aircraft.

In contrast, the upper left quadrant features another cluster, likely representing accidents with different characteristics or human error types. This suggests variations in operational contexts or specific types of errors that are not as prevalent in the lower right cluster. The clear distinction between the clusters indicates different sets of human errors influencing accidents in this diverse aircraft category.

The dense clustering in the lower right suggests common issues that could be addressed through targeted interventions. Meanwhile, the smaller cluster in the upper left highlights the need for specialized strategies to address less frequent but still impactful human errors. This distinction underscores the importance of comprehensive safety measures that not only target widespread issues but also consider the unique challenges posed by less common human errors.

Bar charts seen as Figure 3 is utilized to visualize the degree centrality values for human error categories within each aircraft type, effectively illustrating the relative influence of different human error types on accidents. The simplicity and clarity of bar charts make it easy to compare the magnitude of centrality values, highlighting the most influential errors. This visualization underscores the significant impact of pilot error on aviation safety, emphasizing the need for targeted interventions in pilot training and procedures to reduce accidents.



**Figure 11.** Influence of Human Factors on Commercial Jet Accidents

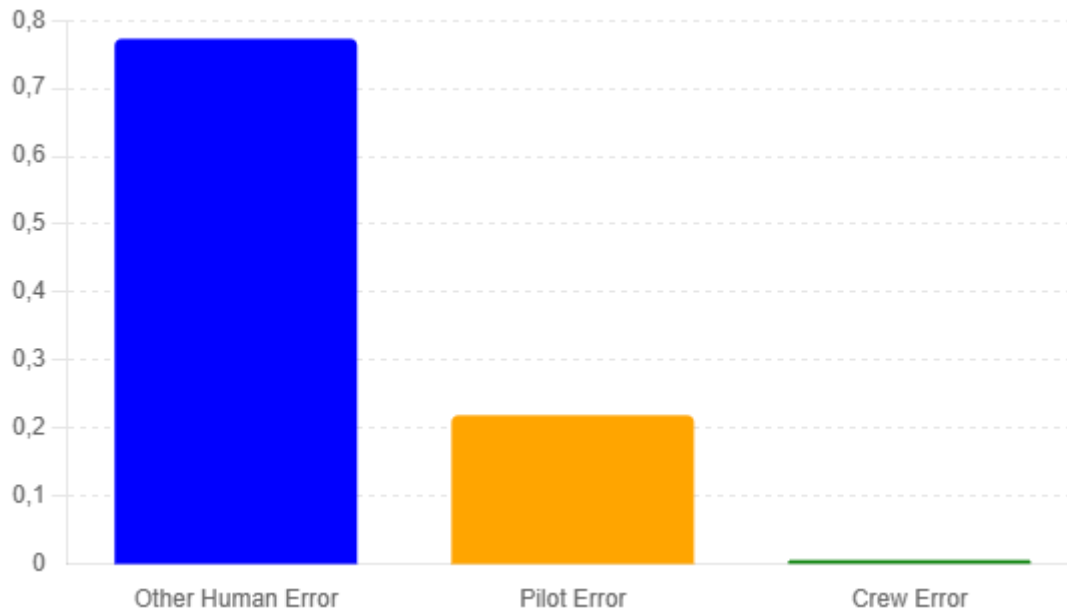
Figure 11, which illustrates the influence of human factors on commercial jet accidents, presents the degree centrality values for three key human error categories: pilot error, crew error, and other human errors.

**Pilot Error (0.6):** This category stands out with the highest degree centrality value of 0.6. This indicates that pilot errors are the most frequently connected to commercial jet accidents. The high degree centrality underscores the significant impact that pilot-related issues have on the safety of commercial jet operations. This frequent connection to accidents highlights the necessity for stringent measures and improvements in pilot training, decision-making processes, and operational protocols to mitigate these errors and enhance overall safety.

**Crew Error and Other Human Error (0.2 each):** Both crew error and other human error categories have a degree centrality value of 0.2, suggesting that these errors are less frequently involved in commercial jet accidents compared to pilot errors. Despite their lower frequency, the presence of crew and other human errors still indicates areas that require attention. Enhancing safety measures for these categories could involve improving crew coordination, communication, and addressing specific procedural lapses that cause to these errors.

Figure10 emphasizes the critical importance of addressing pilot errors as a primary focus to improve safety in commercial jet operations. While crew and other human errors are less frequent, their contribution to accidents signifies that they should not be overlooked. Comprehensive safety interventions should include targeted strategies for mitigating pilot errors as well as addressing the less frequent but still impactful crew and other human errors to ensure a holistic approach to aviation safety. Figure1 villustrates the influence of human factors on commercial jet accidents, displaying the degree centrality values for pilot error, crew error, and other human errors. Pilot error, with a degree centrality of 0.6, stands out as the most frequently connected human error in these accidents. This high value highlights the significant impact of pilot errors on commercial jet safety and emphasizes the need for improved pilot training, decision-making processes, and operational protocols to mitigate these errors and enhance overall safety. Crew error and other human errors both have a degree centrality value of 0.2, indicating that they are less frequently associated with accidents. However, these values emphasize that crew and other human errors should not be ignored. The missing step here is a clearer explanation of how these errors interact with pilot errors and cause collectively to accidents. Crew and other human

errors could potentially amplify pilot errors, triggering accidents, which points to the need for further clarification of these relationships in the chart.



**Figure 12.** Influence of Human Factors on General Aviation Accidents

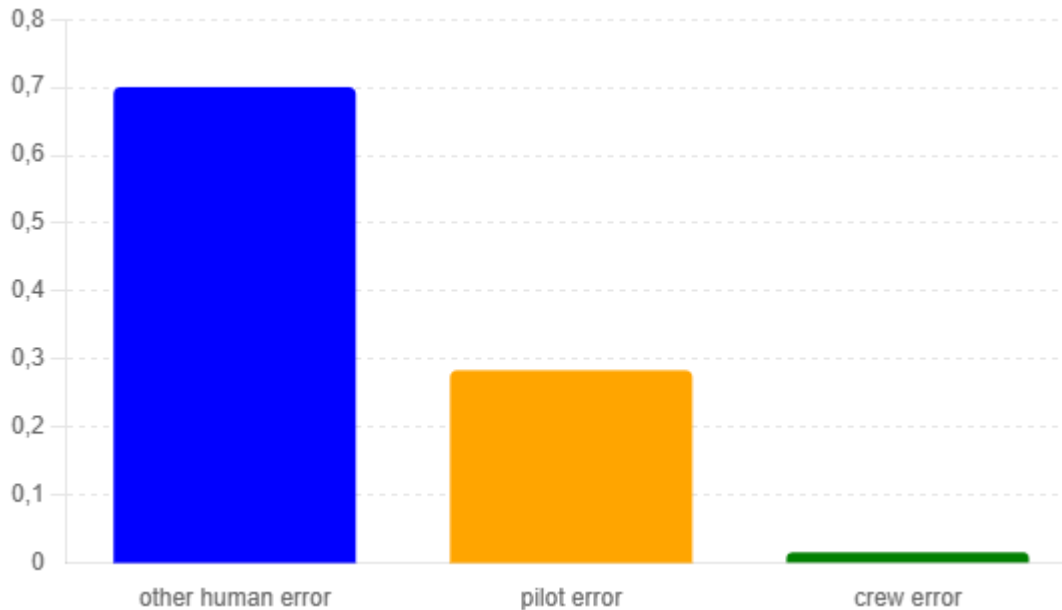
Figure12, which examines the influence of human factors on general aviation accidents, displays the degree centrality values for three categories of human error: pilot error, crew error, and other human errors.

**Pilot Error (0.6):** In the context of general aviation, pilot error once again has the highest degree centrality value of 0.6. This indicates that pilot errors are a major factor in accidents within this category. The high degree centrality value underscores the pervasive impact of pilot mistakes on the safety of general aviation. It highlights the critical need for enhanced pilot training programs, better decision-making protocols, and more rigorous operational procedures to address and mitigate pilot-related errors.

**Crew Error and Other Human Error (0.2 each):** Similar to the findings in commercial jets, both crew error and other human error categories have lower degree centrality values of 0.2 in general aviation. This suggests that these errors are less common than pilot errors but still cause to the overall safety landscape. The lower frequency of these errors indicates that, while they are not the primary cause of accidents, they still warrant attention. Measures to improve crew coordination, communication, and adherence to safety protocols are essential to address these types of errors.

The high degree centrality of pilot error in general aviation indicates that targeted interventions aimed at improving pilot training and reducing pilot-related mistakes could significantly enhance safety in this sector. While pilot error remains the most influential factor, addressing crew and other human errors, though less frequent, is also crucial. Comprehensive safety strategies should include interventions for all types of human errors to further reduce the incidence of accidents and improve overall safety in general aviation.

Figure5 examines the influence of human factors on general aviation accidents. Once again, pilot error, with a degree centrality of 0.6, is the most common factor and has a significant impact on accident occurrence in general aviation. While pilot errors play a central role, a missing explanation here is how other human errors interact with pilot errors and cause to the overall accident landscape. Crew error and other human errors, each with a degree centrality of 0.2, occur less frequently but still cause to general aviation accidents. Although their influence is smaller, these errors cannot be overlooked, as they play a role in the overall safety dynamics of general aviation.



**Figure 13.** Influence of Human Factors on Other Aircraft Accidents

Figure 13 examines the influence of human factors on accidents involving "other" aircraft types, presenting the degree centrality values for various human error categories.

**Pilot Error (0.6):** Pilot error once again exhibits the highest degree centrality value of 0.6, indicating its predominant role in accidents involving diverse types of aircraft. This high value highlights the critical influence of pilot-related factors in these operations, emphasizing the need for improved pilot training and performance across all aircraft categories.

**Crew Error and Other Human Error (0.2 each):** Both crew error and other human error have lower degree centrality values of 0.2. While these errors are less frequent than pilot errors, they remain relevant contributors to accidents in this category. This suggests that although pilot error is the most significant factor, crew and other human errors still play important roles and need to be addressed.

Figure6 looks at accidents involving aircraft in the "other" category. Pilot error once again has the highest degree centrality value of 0.6, making it the most significant factor in these accidents. However, pilot errors often combine with crew errors or other human errors to trigger accidents. Crew and other human errors, each with a centrality value of 0.2, are less frequent but remain important contributors. The centrality values not only reflect the frequency of these errors but should also indicate how these different types of errors are interconnected. The interactions between pilot, crew, and other human errors should be further explained to provide a more complete understanding of how these factors collectively influence accident occurrences.

The dominance of pilot error across different aircraft types, including the diverse "other" category, emphasizes the universal need for enhancing pilot performance and reducing pilot-related mistakes. Although crew and other human errors are less frequent, their consistent presence in all categories indicates that comprehensive safety measures should also consider these factors. Addressing pilot error is crucial, but a holistic approach to aviation safety must also mitigate crew and other human errors to achieve significant improvements.

Collectively, the bar charts highlight the crucial role of pilot error in aviation accidents across various aircraft types. This consistent pattern underscores the necessity for targeted interventions focused on pilot-related issues to improve safety. At the same time, the presence of crew and other human errors in all categories calls for comprehensive safety measures that address all types of human errors for a more holistic improvement in aviation safety practices.

## 5. Discussion

The analysis of aviation accident data through network analysis provides insightful revelations about the influence of human factors on accidents across different aircraft types. By categorizing accidents and their probable causes into pilot error, crew error, and other human errors, and then constructing bipartite networks, it is identified the most critical areas needing intervention to enhance aviation safety. From the bipartite network graphs, it is observed distinct clusters of accidents connected to various human errors. In commercial jets, the dense cluster of nodes indicated frequent connections between accidents and common human error categories, particularly pilot errors. The presence of a smaller, distinct cluster suggests that less frequent but significant human errors also play a role. Similarly, general aviation showed a high concentration of accidents linked to pilot errors, with smaller clusters indicating unique incidents. The "other" aircraft category, representing a diverse set of aircraft, also exhibited dense clustering, emphasizing common human error factors.

The consistent pattern across all graphs points to the pervasive impact of pilot errors on aviation accidents. The separation of clusters in the graphs underscores the differences in the types of errors affecting different aircraft operations, suggesting that tailored strategies are necessary to address these specific issues effectively. The centrality metrics provided a quantitative measure of the influence of different human errors. Pilot error consistently showed the highest degree centrality across all aircraft types, highlighting its frequent and critical role in aviation accidents. This high degree centrality indicates that pilot errors are directly connected to a significant number of accidents, making them a focal point for safety interventions. Closeness centrality further emphasized the central role of pilot error, showing that it is closely related to many accidents and can influence the network significantly. Betweenness centrality, while lower, still pointed to pilot error as a key connector within the network, facilitating interactions between various accidents and human errors.

Crew errors and other human errors, while less frequent, also exhibited noteworthy degree centrality. Their lower values indicate that these errors are less common but still impactful. The lower closeness and betweenness centrality values for these categories suggest that they are less central to the network but still relevant to aviation safety. The bar charts provided a clear visual representation of the relative influence of different human error categories on accidents. In commercial jets, pilot error dominated the chart, indicating its significant impact on safety. General aviation followed a similar pattern, with pilot error being the most influential factor. The "other" aircraft category also showed a high degree centrality for pilot error, reinforcing the universal need to address pilot-related issues across all types of aircraft operations.

The findings highlight the critical importance of addressing pilot errors to improve aviation safety. Given the high degree and closeness centrality of pilot errors, targeted interventions such as enhanced pilot training, stricter adherence to standard operating procedures, and continuous performance evaluations are essential. These measures could significantly reduce the incidence of pilot-related accidents. While pilot errors are paramount, the presence of crew errors and other human errors in the data suggests that a comprehensive safety strategy must also consider these factors. Improving crew resource management, enhancing maintenance procedures, and addressing systemic operational issues can further contribute to overall safety improvements. This detailed analysis underscores the complex interplay of human factors in aviation accidents. By leveraging network analysis and centrality metrics, it is gained a deeper understanding of the critical areas needing intervention. The consistent pattern of pilot error's significant influence across various aircraft types calls for focused efforts to mitigate these risks. Additionally, addressing crew errors and other human errors through comprehensive safety strategies will further enhance aviation safety, leading to a reduction in accidents and fostering a safer aviation environment for all.

## 6. Conclusion:

By employing Network Analysis, this study provides a detailed examination of the relationship between human factors and aviation accidents across different aircraft types. Utilizing Python's NetworkX library, it is constructed bipartite networks to explore the intricate connections between accidents and human error categories. This approach allowed us to identify the most critical areas needing intervention

to enhance aviation safety. The dataset, sourced from the NTSB aviation accident database, includes records of civil aviation accidents from 1962 to the present, offering a comprehensive view of aviation safety over several decades. The data is meticulously cleaned and categorized into specific human error types: pilot error, crew error, and other human errors. Accidents were further classified by aircraft types, including commercial jets, general aviation, helicopters, and others.

For each aircraft type, a bipartite network is constructed. Nodes represented accidents and human error categories, while edges indicated the relationships between them. This network structure enabled us to visualize and analyse the direct connections between various types of human errors and accidents. Centrality metrics, particularly degree centrality, were calculated to identify the most influential human factors. Pilot error emerged as the most critical node across all aircraft types, demonstrating a high degree centrality, which signifies frequent involvement in accidents. Closeness centrality further underscored the central role of pilot error, indicating its significant influence on the network. Although betweenness centrality calculations were limited due to computational constraints, pilot error still showed a notable role as a connector within the network.

The bipartite network graphs and bar charts provided clear visual representations of the data. The dense clustering of nodes in the graphs highlighted common human error factors, while the bar charts emphasized the dominant role of pilot error in aviation accidents. These visualizations are crucial for understanding the relative influence of different human error categories and for guiding targeted safety interventions. The findings highlight the critical importance of addressing pilot errors to improve aviation safety. Given the high degree and closeness centrality of pilot errors, targeted interventions such as enhanced pilot training, stricter adherence to standard operating procedures, and continuous performance evaluations are essential. While pilot errors are paramount, the presence of crew errors and other human errors in the data suggests that a comprehensive safety strategy must also consider these factors. Improving crew resource management, enhancing maintenance procedures, and addressing systemic operational issues can further contribute to overall safety improvements.

The study recommends several targeted interventions to improve aviation safety. First, enhancing training programs for pilots and crew is essential to address and mitigate common errors. This involves not only initial training but also continuous education and simulation exercises to ensure preparedness for various scenarios. Second, implementing stricter safety protocols is crucial to mitigate human errors. This can include more rigorous adherence to standard operating procedures, regular safety drills, and the incorporation of advanced safety technologies. Third, regular performance audits should be conducted to evaluate crew performance and adherence to safety procedures. These audits can identify areas for improvement and ensure that safety standards are consistently met. Finally, utilizing insights from Network Analysis to inform data-driven policy decisions and resource allocation is recommended. This approach allows for the development of targeted interventions based on empirical evidence, ensuring that resources are directed toward the most critical areas needing improvement.

Future studies should aim to expand on these findings by incorporating larger datasets and exploring additional human factors. Key areas for further research include expanding the dataset to incorporate more recent data and additional sources to ensure a comprehensive analysis of aviation accidents, investigating other human factors such as maintenance errors, air traffic control issues, and organizational factors to provide a holistic view of the causes of aviation accidents, conducting a temporal network analysis to understand how the influence of different human factors evolves over time and to identify trends or changes in patterns, comparing data from different countries to examine how cultural differences impact human factors in aviation accidents and to identify best practices in aviation safety globally, utilizing machine learning techniques to predict potential accidents based on identified human factors and to develop proactive measures for accident prevention, and assessing the effectiveness of implemented safety protocols and training programs by analysing post-intervention accident data to determine the impact of these measures on reducing human error-related accidents. To enhance the predictive capabilities of accident analysis, integrating machine learning with network analysis presents a promising approach. By leveraging centrality metrics as input features, machine learning models such as Random Forest or Neural Networks can be trained to identify patterns and predict accident likelihood more accurately. This integration can provide valuable insights, enabling more proactive risk management strategies in aviation safety. Moreover, future research should prioritize

human factors that exhibit high centrality within the network, particularly focusing on pilot decision-making, fatigue management, and communication breakdowns. In-depth exploration of Crew Resource Management (CRM) effectiveness, automation reliance, and situational awareness in critical flight phases will be essential for developing targeted interventions, ultimately contributing to reducing human error in aviation accidents.

The analysis faced several challenges, including computational limitations and data constraints. Closeness and betweenness centrality calculations were too computationally intensive for the large dataset, leading us to focus primarily on degree centrality. Additionally, sampling is used to generate manageable subsets for visualization. The helicopter data contained only one entry, making it impractical for meaningful network analysis and visualization. These limitations were acknowledged, and the analysis focused on other aircraft types with more substantial data.

The dataset has limitations, such as the removal of minor cases from the database in 2001 and potential discrepancies in pre-1983 reports. Fields marked with \*\* did not exist before 1982, which could impact the accuracy of selection parameters involving pre-1982 data. The most striking aspect of this study is its detailed examination of how human factors influence aviation accidents across different aircraft types using network analysis. Utilizing Python's NetworkX library, this study constructed bipartite networks to explore the intricate connections between accidents and human error categories. By focusing on centrality metrics, it is revealed that pilot error is the most influential factor in these networks. The high degree centrality of pilot errors indicates that these errors are frequently connected to accidents, highlighting their significant impact on aviation safety. This suggests that targeted safety interventions, such as improved pilot training and stricter adherence to standard operating procedures, could substantially reduce the number of aviation accidents. Moreover, the visualizations provided by the bipartite network graphs and bar charts underscore the pervasive role of pilot errors across different aircraft types. The dense clustering of nodes around pilot errors in the graphs further emphasizes the need for focused safety measures in this area.

By leveraging network analysis to understand the complex relationships between accidents and human errors, this study makes a significant step forward in aviation safety research. It provides a robust foundation for future studies to build upon, aiming to incorporate larger datasets, explore additional human factors, and develop more comprehensive safety strategies to further improve aviation safety globally. This detailed network analysis and visualization provide valuable insights into the most influential human error categories across different aircraft types. By focusing on systemic issues alongside individual training, the aviation industry can enhance safety and reduce accident rates more effectively. The study demonstrates the utility of Network Analysis in understanding complex relationships within aviation safety data, highlighting the need for targeted interventions to address pilot errors and other human factors. Future research should build on these findings to develop more comprehensive safety strategies and further improve aviation safety globally.

The most striking aspect of this study is its detailed examination of the influence of human factors on aviation accidents across different aircraft types using network analysis. Conducted with the NetworkX library, this analysis reveals that pilot error is the most influential factor, emphasizing the need for targeted safety measures in this area. The high degree centrality of pilot errors indicates that these errors are frequently connected to accidents and have a significant impact on aviation safety. This finding suggests that focused safety interventions to reduce pilot errors could substantially decrease the number of aviation accidents. By leveraging network analysis to understand the complex relationships between accidents and human errors, the study makes a significant step forward in establishing effective aviation safety strategies.

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

All authors equally contributed to the study.

#### **Acknowledgments and/or disclaimers,**

The study did not receive any support. There is no institution or person to thank.

#### **Conflict of Interest Statement,**

There is no conflict of interest with any parties.

## References

- Al-Taie, M.Z., Kadry, S.** (2017). Theoretical Concepts of Network Analysis. In: Python for Graph and Network Analysis. Advanced Information and Knowledge Processing. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53004-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53004-8_1)
- Bazargan, M., Guzhva, V., & Raghavan, S.** (2022). *Human Factors in Aviation: Analysis of Pilot Errors in Different Flight Phases*. Journal of Aviation Safety Research, 14(3), 245-259.
- Beers B.,** (2022) “Which Major Expenses Affect Airline Companies?,” Investopedia (Investopedia, October 14, 2022), <https://www.investopedia.com/ask/answers/040715/what-are-major-expenses-affect-companies-airline-industry.asp>.
- Bellamy, W.** (2017, April 3). ICAO is not calling for cockpit video cameras in new airplanes. Avionics. Available from <http://www.aviationtoday.com/2017/03/28/icao-not-calling-cockpit-video-cameras-new-airplanes/>
- Betweenness Centrality.** (2022). Betweenness Centrality. Retrieved November 3, 2022, from <https://www.sci.unich.it/~francesco/teaching/network/betweenness.html>.
- Bishop, J.** (2018, September 12). You'll never guess which country has the most female pilots. Forbes. Available from <https://www.forbes.com/sites/bishopjordan>.
- Blondel, V. & Guillaume, J., Lambiotte, R. & Lefebvre, E.** (2008). Fast Unfolding of Communities in Large Networks. Journal of Statistical Mechanics Theory and Experiment. 2008. 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.
- Borgatti, S.** (2005). Centrality and Network Flow. Social Networks. 27. 55-71. 10.1016/j.socnet.2004.11.008.
- Borgatti, S.P & Foster, P.C.** (2003). A network paradigm in organizational research: A review and typology. Journal of Management, 29 (6) :991-1013.
- Bounfour, A.** (2016). Accelution: Stakes, Opportunities and Risks. In: Digital Futures, Digital Transformation. Progress in IS. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23279-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23279-9_8)
- Budriene, D. & Diskiene, D.** (2020). Employee Engagement: Types, Levels and Relationship with Practice Of HRM. Malaysian E Commerce Journal. 4. 42-47. 10.26480/mecj.02.2020.42.47.
- Burt, S. R.** (2011). Neighbor networks: competitive advantage local and personal. USA: Oxford University Press
- Causse, M., Dehais, F., Péran, P., & Pastor, J.** (2013). The effects of emotion on pilot decision-making: A neuroergonomic approach to aviation safety. Transportation Research Part C: Emerging Technologies.
- Davies, A.** (2014, July 10). Why pilots hate the idea of cameras watching them fly. Wired. Available from <https://www.wired.com/2014/07/malaysia-370-cockpit-camera/>
- Dingus, T. A., et al.** (2006). The 100-Car naturalistic driving study: Phase II - Results of the 100-Car field experiment. PsycEXTRA Dataset, 28-60.



**Dismukes, K., & Nowinski, J.** (2007). Prospective memory, concurrent task management, and pilot error. In *Human Factors in Aviation Operations*.

**Eyre, B., & Stanton, N.** (2021). *Assessing the Impact of Experience on Pilot Error Rates in Complex Flight Operations*. *Ergonomics in Aviation*, 12(4), 331-342.

Federal Register. (2014, February 12). Prohibition on personal use of electronic devices on the flight deck. Available from <https://www.federalregister.gov/documents/2014/02/12/2014-02991/prohibition-on-personal-use-of-electronic-devices-on-the-flightdeck>

**Federal Aviation Administration.** (2024). Addendum: Human factors in aviation maintenance. FAA Safety Team  
[https://www.faa.gov/files/gslac/courses/content/258/1097/AMT\\_Handbook\\_Addendum\\_Human\\_Factors.pdf](https://www.faa.gov/files/gslac/courses/content/258/1097/AMT_Handbook_Addendum_Human_Factors.pdf)

**Gatta, A.** (2018). Rethinking human error in aviation accidents: Regulatory and standard practices in the Nigerian aviation industry. *International Journal of Arts, Languages and Business Studies*, 1(1), 187-202.

**Groom, V., Velazquez, M., & Wickens, C. D.** (2023). *The Influence of Automation on Pilot Situational Awareness and Error Likelihood*. *Human Factors in Aviation Automation*, 15(2), 180-197.

**International Civil Aviation Organization.** (2019). *State of Global Aviation Safety 2019*. ICAO Publications.

International Civil Aviation Organization (2024). *Aircraft Accidents*.  
<https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx>

**Ison, D. C.** (2005). Top 10 pilot errors. *Plane & Pilot Magazine*. Available from <http://www.planeandpilotmag.com/article/top-10-pilot-errors/#.WQcZEoWcFU>

**Leclerc, J.** (2007). MEMS for aerospace navigation. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*.

**Li, G., Grabowski, J., Baker, S. P., & Rebok, G. W.** (2006). Pilot error in air carrier accidents: Does age matter? *Aviation Space and Environmental Medicine*.

**Li, W. C., & Harris, D.** (2006). Pilot error and its relationship with higher organizational levels: HFACS analysis of 523 accidents. *Aviation Space and Environmental Medicine*.

**Liu, S. Y., Chi, C. F., & Li, W. C.** (2013). The application of Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) to investigate human errors in helicopter accidents. *Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Applications and Services - Volume Part II*.

**Molesworth, B. R. C., & Estival, D.** (2015). Miscommunication in general aviation: The influence of external factors on communication errors. *Safety Science*.

**NetworkX — NetworkX documentation.** (2022). NetworkX — NetworkX Documentation. Retrieved November 4, 2022, from <https://networkx.org/>

**Rashid, A., Cottenier, T., Greenwood, P., & Joosen, W.** (2010). Aspect-oriented software development in practice: Tales from AOSD-Europe. *Computer*.

**Rebok, G. W., Qiang, Y., Baker, S. P., & Li, G.** (2009). Pilot age and error in air taxi crashes. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 80(7), 647-651.

**Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A.** (2004, November). HFACS analysis of military and civilian aviation accidents: A North American comparison. In Proceedings of the Annual Meeting of the International Society of Air Safety Investigators, Gold Coast, Australia.

**Shappell, S., Detwiler, C., Holcomb, K., & Wiegmann, D. A.** (2007). Human error and commercial aviation accidents: An analysis using the Human Factors Analysis and Classification System. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*.

**Williams, P., & Jackson, R.** (2022). *The Effectiveness of Crew Resource Management (CRM) Training in Reducing Pilot Error Rates*. *Aviation Psychology Review*, 10(1), 98-113.

**Winter, S. R., Rice, S., Capps, J., & Baugh, B. S.** (2020). An analysis of a pilot's adherence to their personal weather minimums. *Safety Science*.

## Research Article

### **Türkiye'nin MAAS platformu için veri ve ödeme yöntemi standardizasyonu**

Nihan Karacameydan İncemehmetoğlu<sup>1\*</sup>, Kubilay Tuğlu<sup>1</sup>, Özlem Coşkun<sup>1</sup>, Ömer Mahir İrdam<sup>1</sup>, İsa Avcı<sup>2</sup>, Bahadır Furkan Kınacı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PTT Bilgi Teknolojileri A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

<sup>3</sup>Raylı Sistemler Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye,

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

DOI: 10.51513/jitsa.1520992

**Özet:** Gelişen teknoloji ve ulaşım duyulan ihtiyaçlar, ulaşım sistemlerinde gelişmelere neden olmuştur. Bu gelişmeler daha konforlu, güvenli, verimli ve erişilebilir sistemlere olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. İlerlemelerin sonucu olarak akıllı ulaşım sistemleri ile ilgili gelişmeler ortaya çıkmış ve anlık izlenebilir ve yönetilebilir sistemler oluşturulmaya başlanmıştır. Ortaya konulan entegrasyon ve uçtan uca tüm seyahatin sağlanması için son yıllarda gelişen Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS) uygulamaları sektöre katkı sağlar duruma gelmiştir. Bu çalışmada, 2. seviye MaaS olarak geliştirilen uygulamanın bilgi edinme, rezervasyon ve ödeme işlemlerinde kullanılan uygulama bilgileri aktarılacaktır. Gerçekleştirilen uygulama şehirlerarası ve şehir içi toplu taşıma; paylaşımlı bisiklet, elektrikli bisiklet (e-bisiklet), elektrikli skuter (e-skuter) ve araç kiralama dahil olmak üzere çeşitli ulaşım seçeneklerini içermek ile birlikte, ilk aşamada 2 pilot şehirde, 10 ulaşım hizmet sağlayıcı ile 9 ulaşım modunda, yaklaşık 2000 toplu taşıma aracı ve yaklaşık 3500 paylaşımlı mikromobilite aracını kapsamaktadır. Ayrıca sistem uygulamaları ile mevcut kullanımda olan veri ve servis standartlarının yeterlilikleri tartışılacaktır. Bu çalışmada, Türkiye'nin ilk yerli ve milli 2. Seviye MaaS uygulaması olması planlanan TRota'da; şehirlerarası ve şehir içi toplu taşıma, paylaşımlı bisiklet ve e-skuter, araç kiralama dahil olmak üzere çeşitli ulaşım modlarını tek bir uygulamada kullanıcılara sunulmaktadır. TRota uygulama entegrasyon çalışmasında oluşabilecek riskler için alınan önlemler ve alınması gereken ilave önlemler ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS), Veri Standardizasyonu, MaaS Platformu

### **Data and payment method standardization for Turkey's MAAS platform**

**Abstract:** Developing technology and transportation needs have led to developments in transportation systems. These developments have revealed the need for more comfortable, safe, efficient, and accessible systems. As a result of the progress, developments in smart transportation systems have emerged, and instantly monitorable and manageable systems have begun to be created. Mobility as a Service (MaaS) applications, which have developed in recent years to ensure integration and end-to-end travel, has become a contribution to the sector. In this study, the application information used in information acquisition, reservation, and payment transactions of the application developed as a 2-level MaaS will be transferred. The implementation includes a variety of transport options including intercity and urban public transport, shared bicycles, electric bikes, electric scooters, and car rental, and in the first phase covers around 2000 public transport vehicles and around 3500 shared micromobility vehicles in 2 pilot cities, in 9 transport modes with 10 transport service providers. Additionally, the adequacy of system applications and data and service standards currently in use will be discussed. In addition, in this study, TRota, which is planned to be Turkey's first domestic and national Level 2 MaaS application; offers users various transportation modes, including intercity and urban public transportation, shared bicycles and e-scooters, and car rental, in a single application.

**Keywords:** Mobility as a Service (MaaS), Data Standardization, MaaS Platform

\* Corresponding author.

E-mail address: [nkaracameydan@gmail.com](mailto:nkaracameydan@gmail.com)

ORCID: 0009-0002-6486-2657; 0000-0002-6235-2920; 0009-0000-9413-9414; 0009-0007-0407-0400; 0000-0001-7032-8018; 0000-0001-6872-2630

Received 25.07.2024; Received in revised form 14.10.2024; Accepted 18.10.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Giriş

1950’li yıllardan itibaren kırsal alanlardan kentlere göçün hızlanması ve bununla birlikte artan kentleşme, kent içi ulaşım sistemi üzerindeki baskının artmasına neden olmuştur. Kentleşmeye paralel olarak bireylerin gelirlerinde yaşanan artış, toplu taşımaya nazaran daha konforlu, öngörülebilir, esnek ve uçtan uca bir yolculuk deneyimi sunan özel araçlara yönelik talep artışını beraberinde getirmiştir. Artan özel araç sayısı ile birlikte kent merkezlerindeki yollar ve otopark alanları yetersiz kalmakta, trafik yoğunluğu trafikte daha çok zaman harcanmasına neden olmaktadır. Trafik sıkışıklığına çözüm olarak yapılan yol ve otopark yatırımları ise bir süre iyileşme sağlasa da daha sonra “kısıktırılmış trafik” olarak adlandırılan duruma neden olmakta ve trafik sıkışıklığı eski haline dönmektedir. Bu kısır döngü ise kentlerin insan odaklı olmaktan çıkıp araç odaklı bir hale bürünmesine, ekonomik, çevresel ve sosyal alanda çeşitli sürdürülebilirlik problemlerinin doğmasına neden olmaktadır. Günümüzde kent yaşamında temel ihtiyaçların başında ulaşım gelmektedir. Büyük kentlerde yaşayan bireyler iş, eğitim, sağlık ve sosyalleşme gibi ihtiyaçların neredeyse tamamını karşılamak için öncelikle ulaşım ihtiyacının karşılanmasına gereksinim duymaktadır. Kent içi ulaşımı daha esnek, dirençli, ekonomik ve öngörülebilir kılabilmek, yoğun özel araç kullanımının doğurduğu sürdürülebilirlik problemlerinin önüne geçebilmek için öncelikle özel araca alternatif ulaşım hizmetlerinin geliştirilmesi elzem hale gelmektedir. Farklı ulaşım modu ve operatörleri bir araya getirmek, bu aktörler arasında bir uyum tesis etmek, birçok ulaşım modunu entegre ederek son kullanıcılara uçtan uca tüm seyahat deneyimini kapsayacak bir hizmetin sunulması konusunda hizmet olarak hareketlilik (Mobility as a Service (MaaS)) uygulamaları önemli bir rol üstlenmektedir (İstanbul Planlama Ajansı, 2024).

Türkçeye hizmet olarak hareketlilik olarak çevrilen MaaS konsepti ilk olarak Finlandiya’da, Helsinki Belediyesi tarafından yaptırılan Aalto Üniversitesindeki bir Yüksek Lisans tezinin konusu olarak ortaya çıkmıştır. İlk olarak "hareketlilik operatörleri tarafından müşterilere kapsamlı bir ulaşım hizmetleri yelpazesinin sunulduğu bir sistem" olarak tanımlanmıştır (Heikkilä, 2024). Hizmet olarak hareketlilik modelinde, otomobil kullanımı ile aynı derecede kullanışlı, sürdürülebilir ve ekonomik bir ulaşım hizmeti sunmak amacıyla; tek bir kanal üzerinden, toplu taşıma, paylaşımlı araçlar, taksi vb. ulaşım araçlarına veya bu araçların bir kombinasyonuna ilişkin olarak bilgi edinme, rota oluşturma, rezervasyon yapma, ödeme, biletleme, kiralama gibi işlemlerin gerçekleştirilmesi mümkündür. Ayrıca, bu model kullanıcı deneyimini önceliklendiren, talep odaklı, yenilikçi bir ulaşım hizmeti iş modelidir (MaaS Alliance, 2017). Hizmet olarak hareketlilik modeli, kullanıcıların mobilite davranışlarında kapsamlı bir değişiklik oluşturmayı, araç sahipliğine alternatif bir çözüm sunmayı ve aynı zamanda insanların ve işletmelerin günlük yaşamlarını iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Koca, 2024; Macedo vd., 2022).

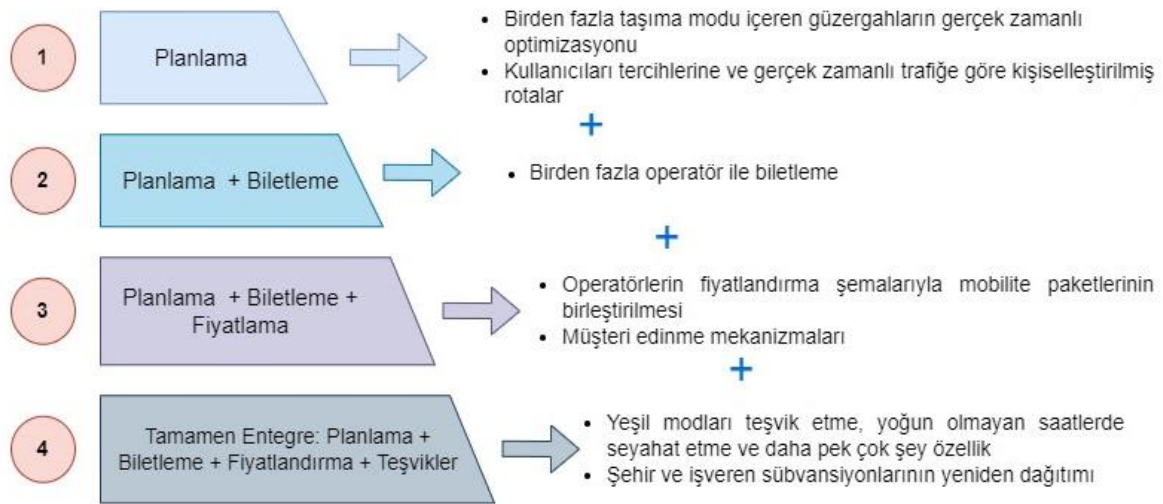
Literatürde hizmet olarak hareketlilik konsepti dört veya beş seviyede ele alınmakta ancak beş seviyede ele alınan çalışmalarda ilk seviyeyi hiçbir entegrasyon içermeyen, ulaşım operatörlerinin yalnızca kendi hizmetlerini sundukları uygulamaları kapsayan 0. seviye oluşturmaktadır. Sochor vd., yaptıkları çalışmada Hizmet olarak hareketlilik konseptini; 0. seviye entegrasyon yok; 1. seviye bilgi entegrasyonu; 2. seviye rezervasyon ve ödeme entegrasyonu; 3. seviye sözleşmeler ve sorumluluklar da dahil olmak üzere hizmet teklifi entegrasyonu; 4. seviye toplumsal hedeflerin entegrasyonu olmak üzere 5 seviyede ele almıştır (Sochor vd., 2018). Tablo 1’de MaaS seviyeleri detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 1.** MaaS Seviyeleri (Sochor vd., 2018).

Seviyeler	Açıklama
0. Seviye	Entegrasyon Yok Herhangi bir entegrasyonun olmadığı, ulaşım operatörünün sadece kendi hizmetini sunduğu seviyedir.
1. Seviye	Bilgi Entegrasyonu Entegre olan ulaşım hizmetlerine ilişkin olarak kullanıcılara en iyi seyahat seçeneğini bulmak üzere sadece bilgi sunulan seviyedir.
2. Seviye	Rezervasyon ve Ödeme Entegrasyonu

	Entegre olan ulaşım hizmetlerine ilişkin olarak kullanıcılara bilgi, rezervasyon, biletleme ve ödeme seçenekleri sunulan, farklı ulaşım seçeneklerini tek bir uygulamadan kullanmayı mümkün kılan seviyedir.
3. Seviye	Hizmet Teklifi Entegrasyonu Kullanıcılara abonelik tabanlı olarak, paketler hâlinde, tüm mobilite ihtiyaçlarını karşılayacak kapsamda; bilgi, rezervasyon, biletleme ve ödeme seçeneklerinin tamamını, periyodik ve sabit fiyat üzerinden sunan seviyedir.
4. Seviye	Toplumsal Hedeflerin Entegrasyonu Karbon emisyonunun düşürülmesi, araç sahipliğinin azaltılması, erişilebilirliğin artırılması, yaşanabilir şehirlerin oluşturulması vb. toplumsal hedeflere yönelik olarak daha sürdürülebilir ulaşım seçeneklerinin sunulduğu, seyahatlerin yoğun olmayan saatlere kaydırıldığı, ekonomik teşvikleri içeren, bilgi, rezervasyon, biletleme ve ödeme seçeneklerinin tamamının sunulduğu seviyedir.

Boston Consulting Group'un Seeking Perpetual Motion with Mobility as a Service raporunda ise MaaS 1. seviyede planlama, 2. seviyede planlama ve biletleme, 3. seviyede planlama, biletleme ve fiyatlandırma ve son olarak 4. seviyede planlama, biletleme, fiyatlandırma ve teşvikler olmak üzere dört seviyede ele alınmıştır (Hazan vd, 2024). Şekil 1'de ilgili raporda belirtilen MaaS seviyeleri aktarılmıştır.



Şekil 1. MaaS seviyeleri (Hazan vd, 2024).

Kayıkçı ve Kabadurmuş, Toplam Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (TISM) ve Matris Tabanlı Çarpma-Bir Sınıflandırmaya Uygulanan (MICMAC) yöntemlerini kullanarak belirlenen engellerin ve bunların birbirleriyle bağlamsal ilişkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. İstanbul'da MaaS sisteminin benimsenmesi sırasında hangi önemli engellerle karşılaşılacağı araştırılmak amacıyla uzman bir grup üzerinde vaka çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, MaaS konseptinin İstanbul'da benimsenmesinin önündeki en önemli engelin, öncelikle bu mobilite hizmetinin hukuki niteliğini içeren Kanunlar, Yönetmelikler ve Yönergeler olduğunu göstermiştir. En az önemli engellerin ise Müşteri Kabulü ve İşgücü Eksikliği olduğu tespit edilmiştir (Kayıkçı ve Kabadurmuş, 2022).

Cruz ve Sarmiento, genel olarak mobiliteyi, özel olarak da MaaS'ı etkileyen temel zorlukların yanı sıra MaaS çözümleri sunmak için kullanılan ana iş modelleri hakkında bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Makale, bazı zorlukları göstermek için Lizbon'daki bir vaka çalışmasını kullanmaktadır. İnsanların

hareketlilik davranışlarıyla ilgili değişime direnmelerinin başlıca nedenleri; hareketlilik alternatiflerini karşılaştırırken toplam maliyetlere ilişkin farkındalık eksikliği veya toplu taşıma ve ortak ulaşım alternatifleri, sosyal bağlar, sosyal bağlar hakkında bilgi eksikliği ve kişisel tercihler olarak tespit edilmiştir. MaaS, hareketlilik deneyiminin kaydedilmesi ve dijitalleştirilmesi için bir ihtiyaç olduğu kadar yolcu hareketlerinin daha yakından takip edilmesini de sağlayan bir sistemdir (Cruz ve Sarmento, 2020).

MaaS uygulamalarının farklı seviyeleri için farklı gereksinimler doğmakta, veri standartları bu gereksinimlerin bazılarını karşılayabilmekte bazılarını ise karşılayamamaktadır. Örneğin birinci seviye bir MaaS uygulamasında ulaşım hizmet sağlayıcılar ile MaaS operatörü arasında sadece bilgi paylaşımı yeterli olurken ikinci seviye bir MaaS uygulamasında planlama ve biletleme seçeneklerinin de kullanıcılara sunulması beklenmektedir. Bu kapsamda, General Transit Feed Specification (GTFS) ve General Bikeshare Feed Specification (GBFS) veri formatları birinci seviye bir MaaS uygulaması için yeterli olurken biletleme, rezervasyon ve ödeme gibi işlemlere yönelik herhangi bir metod içermediklerinden yeterli olmamaktadır. Bu çalışmada da bu farklı seviyeler için doğan farklı gereksinimler ve halihazırda kullanımda olan veri standartlarının bu gereksinimler bakımından yeterli olup olmadığı ele alınacaktır. Yapılan bu çalışmada, geliştirilmekte olan Türkiye'nin ilk yerli ve milli, 2 Seviye MaaS uygulaması olacak TRota ile şehirlerarası ve şehir içi toplu taşıma; paylaşımlı bisiklet, e-bisiklet, e-skuter ve araç kiralama dahil olmak üzere çeşitli ulaşım seçeneklerini tek bir uygulama üzerinden kullanıcılara sunmak; bilgi edinme, rezervasyon ve ödeme gibi işlemlere aracılık ederek kullanıcılara uçtan uca bir deneyim sağlamak hedeflenmektedir. Platform, ilk aşamada 2 pilot şehirde, 10 ulaşım hizmet sağlayıcı ile 9 ulaşım modunda, yaklaşık 2000 toplu taşıma aracı ve yaklaşık 3500 paylaşımlı mikromobilité aracını kapsayacaktır. Çalışmada 2. seviye bir MaaS uygulamasının geliştirme aşamasında doğan farklı gereksinimler ve halihazırda kullanımda olan veri standartlarının bu gereksinimler bakımından yeterli olup olmadığı ele alınacaktır.

## 2. MaaS Uygulamalarında Kullanılan Veri Standartları

Bu çalışma kapsamında öncelikle hâlihazırda kullanılmakta olan GTFS, GBFS, Transport Operator to Mobility-as-a-Service Provider API (TOMP-API) gibi veri standartları incelenmiştir. Ardından paydaşlar ve olası paydaşlar ile ilgili standartlar üzerine görüş alışverişi gerçekleştirilmiş, ürün gereksinimleri ve yerel ihtiyaçlar analiz edilmiştir.

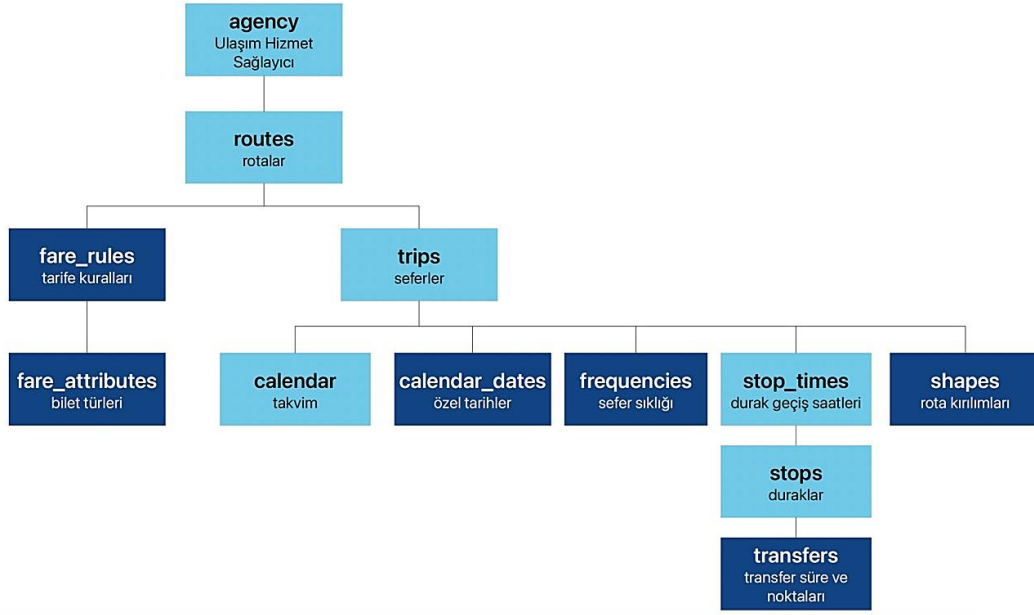
### 2.1. General Transit Feed Specification – GTFS

GTFS ya da Türkçe ifadesi ile Genel Taşıma Verisi Yayın Şartnamesi, ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Oregon eyaletinde yer alan Portland kentinde bir toplu taşıma operatörü olan TriMet'in Bilişim Teknolojileri Yöneticisi Bibiana McHugh'un 2005 yılında farklı şehirlere seyahat ettiğinde, gittiği şehirlerin toplu taşıma araçlarına dair bilgi edinemesi üzerine ulaşım verilerinin çevrimiçi şekilde sunulması gerektiğini fark etmesinin ardından ortaya çıkmıştır. Google Haritalar ile TriMet'in entegrasyonu için geliştirme çalışmalarına başlanmış ve Aralık 2005'te Google Transit'in Portland Metro'yu içeren ilk sürümü yayınlanmıştır (McHugh, 2013). İlk başta Google Transit Feed Specification olarak isimlendirilen standart, 2010 yılında Google dışında da pek çok aktörün bu standart üzerinden uygulama geliştirmesi sonucunda isim değişikliğine uğramış ve General Transit Feed Specification ismini almıştır (GTFS Background, 2024). Google, toplu taşıma hizmet sağlayıcılar ile entegrasyonlarında bugün hâlen bu standardı kullanmaktadır. Buna ek olarak GTFS, 100'den fazla ülkede 10.000'den fazla ulaşım hizmet sağlayıcı tarafından kullanılmaktadır (GTFS, 2024). Tablo 2'de GTFS veri formatını oluşturan dosyalar ve bu dosyaların açıklamaları verilmiştir (GTFS Schedule Reference, 2024).

**Tablo 2.** GTFS dosya yapısı (GTFS Schedule Reference, 2024).

Dosya Adı	Açıklama
agency.txt*	Ulaşım hizmet sağlayıcı bilgileri bu dosyada tutulmaktadır.
stops.txt*	Duraklara ilişkin bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
routes.txt*	Rotalara ilişkin bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
trips.txt*	Seferlere ilişkin bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
stop_times.txt*	Seferlerin belirli duraklardan geçiş bilgileri bu dosyada tutulmaktadır.
calendar.txt	Sefer takvimi bu dosyada tutulmaktadır.
Tablo 2. (Devamı)	
calendar_dates.txt	Takvime ilişkin özel tarihler (örneğin tatil günleri) bu dosyada tutulmaktadır.
fare_attributes.txt	Tarife bilgileri bu dosyada tutulmaktadır.
fare_rules.txt	Tarife kuralları bu dosyada tutulmaktadır.
timeframes.txt	Saat, gün ve tarihe göre değişebilen ücretlerin olduğu durumlarda bu ücret tanımlarını tutmaktadır.
fare_media.txt	Yolcuların ücret ödemek için kullanabileceği farklı ödeme araçlarının bilgilerini tutmaktadır.
fare_products.txt	Yolcuların alabileceği farklı bilet türlerini (örneğin tek binişlik bilet, günlük bilet) veya kullanılan ücretleme türlerini ve bunlara ilişkin bilgileri tutmaktadır.
fare_leg_rules.txt	Ücret kurallarını tutmaktadır.
fare_transfer_rules.txt	Aktarma kurallarını tutmaktadır.
areas.txt	Hizmet bölgelerine ilişkin tanımlamaları tutmaktadır.
stop_areas.txt	Durakların (stops.txt'te tutulan duraklar) hangi hizmet bölgelerine ait olduğu bilgisini tutmaktadır.
networks.txt	Birden fazla şehir veya bölgede hizmet veren operatörler için birden fazla ağın veri kümelerinin tanımlamasını tutmaktadır.
route_networks.txt	Rotaların hangi ağlara ait olduğu bilgisini tutmaktadır.
shapes.txt	Güzergahın harita üzerinde doğru gösterimi için gerekli koordinat bilgileri bu dosyada tutulmaktadır.
frequencies.txt	Sefer sıklığına ilişkin bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
transfers.txt	Duraklar arası transfer sürelerine ilişkin bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
pathways.txt	Durakları birbirine bağlayan yolları tutmaktadır.
levels.txt	Durak / istasyon seviyelerini tutmaktadır.
translations.txt	Transit operatörüne bağlı bilgileri çevrilmiş halini tutmaktadır.
feed_info.txt	GTFS veri setiyle ilgili genel bilgiler (örneğin veri setinin sürümü, yayın tarihi, dil vb.) bilgiler bu dosyada tutulmaktadır.
attributions.txt	GTFS veri kümesinin kaynağını ve atıf bilgilerini tutmaktadır.

şekil 2’de GTFS hiyerarşi diyagramı ile ilgili detaylar verilmiştir.



şekil 2. GTFS hiyerarşi diyagramı.



GTFS veri yapısı ile ilgili detaylar Şekil 3’te verilmiştir.

<p><b>Agency</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- id</li> <li>- lang</li> <li>- name</li> <li>- phone</li> <li>- timezone</li> <li>- url</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- routes</li> </ul>	<p><b>Route</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- accessible</li> <li>- agency_id</li> <li>- color</li> <li>- count</li> <li>- desc</li> <li>- id</li> <li>- long_name</li> <li>- short_name</li> <li>- text_color</li> <li>- type</li> <li>- url</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- agency</li> <li>- fareRules</li> <li>- trips</li> </ul>	<p><b>Trip</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- block_id</li> <li>- direction_id</li> <li>- headsign</li> <li>- id</li> <li>- route_id</li> <li>- service_id</li> <li>- shape_id</li> <li>- short_name</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- frequencies</li> <li>- route</li> <li>- shape</li> <li>- stopTimes</li> </ul>	<p><b>Frequency</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- end_time</li> <li>- headway_secs</li> <li>- start_time</li> <li>- trip_id</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- trip</li> </ul>	<p><b>Shape</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dist_traveled</li> <li>- id</li> <li>- pt_lat</li> <li>- pt_lon</li> <li>- pt_sequence</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- trips</li> </ul>	<p><b>Fare</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- currency_type</li> <li>- id</li> <li>- payment_method</li> <li>- price</li> <li>- transfer_duration</li> <li>- transfers</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fareRule</li> </ul>
<p><b>Stop</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- code</li> <li>- desc</li> <li>- id</li> <li>- lat</li> <li>- location_type</li> <li>- lon</li> <li>- name</li> <li>- parent_station</li> <li>- url</li> <li>- zone_id</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- parentStation</li> <li>- stopTimes</li> <li>- transferBeginpoints</li> <li>- transferEndpoints</li> </ul>	<p><b>StopTime</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- arrival_time</li> <li>- departure_time</li> <li>- drop_off_type</li> <li>- pickup_type</li> <li>- shape_dist_travel</li> <li>- stop_headsign</li> <li>- stop_id</li> <li>- stop_sequence</li> <li>- trip_id</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stop</li> <li>- trip</li> </ul>	<p><b>Transfer</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- from_stop_id</li> <li>- min_transfer_time</li> <li>- to_stop_id</li> <li>- transfer_type</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fromStop</li> <li>- toStop</li> </ul>	<p><b>Calendar</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- end_date</li> <li>- friday</li> <li>- monday</li> <li>- saturday</li> <li>- service_id</li> <li>- start_date</li> <li>- sunday</li> <li>- thursday</li> <li>- tuesday</li> <li>- wednesday</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p>	<p><b>CalendarDate</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- date</li> <li>- exception_type</li> <li>- service_id</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p>	<p><b>FareRule</b></p> <p><b>Attributes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- contains_id</li> <li>- destination_id</li> <li>- fare_id</li> <li>- origin_id</li> <li>- route_id</li> </ul> <p><b>Relationships</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fare</li> <li>- route</li> </ul>

Şekil 3. GTFS veri yapısı.

## 2.2. General Bikeshare Feed Specification – GBFS

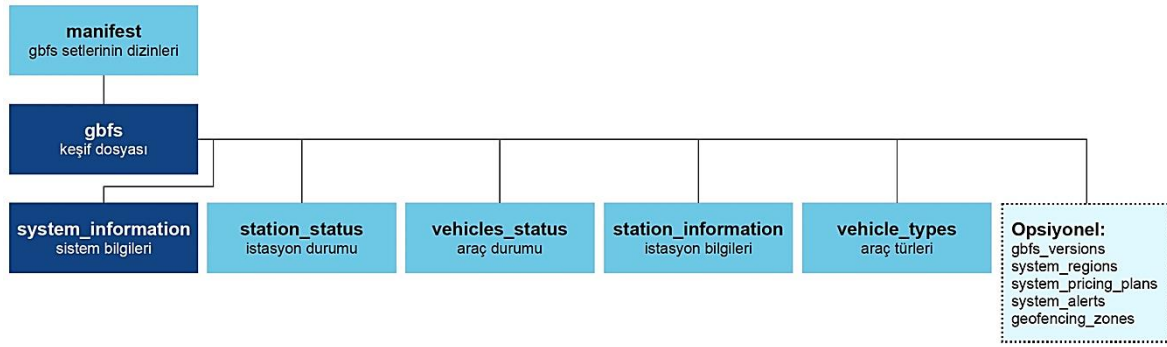
GBFS ya da Türkçe ifadesiyle Genel Bisiklet Paylaşımı Veri Yayın Şartnamesi başta bisiklet olmak üzere paylaşımlı mobilite için bir açık veri standardıdır. 2014 yılında Mitch Vars tarafından oluşturulan GTFS, paylaşımlı mobilite alanında faaliyet gösteren kamu ve özel sektör aktörlerinin de desteğiyle hayata geçmiş; Kuzey Amerika Bisiklet Paylaşım Birliğinin 2015'teki onay ve desteği ile birlikte başarısını ortaya koymuştur (Mobility Data, 2024). GBFS API, aktif araçların konum bilgisi, müsait durumu, şarj durumu, araç tipi gibi bilgilerini gerçek zamanlı olarak raporlamaktadır (Xu vd., 2020). Tablo 3'te GBFS veri formatını oluşturan temel dosyalar ve bu dosyaların açıklamaları verilmiştir.

Tablo 3. GBFS dosya yapısı (GBFS, 2024)

Dosya Adı	Açıklama
gbfs.json	Otomatik keşif dosyasıdır.
manifest.json	Birden fazla GBFS veri seti yayımlayan ulaşım hizmet sağlayıcılar için (örneğin Konya'daki araçları için ayrı Kocaeli'ndeki araçları için ayrı GBFS veri seti yayımlayan skuter hizmet sağlayıcı) gerekli olan bir keşif dosyasıdır. Hizmet sağlayıcı tarafından yayımlanan tüm GBFS veri kümelerinin URL'lerinin kapsamlı bir listesini tutar.
gbfs_versions.json	GBFS belgelerinin sürümlerine göre yayımlanan tüm yayın uç noktalarını tutar.
system_information.json	Hizmet sağlayıcıya ilişkin isim, sistem konumu, uygulandığı yıl, URL, iletişim bilgileri, saat dilimi gibi bilgileri tutar.

vehicle_types.json	Hizmet sağlayıcının sunduğu araç türlerini (bisiklet, sepetli bisiklet, araba, moped, skuter ve diğer) tutar. Bu dosya olmadığında feed'deki tüm araçların bisiklet olduğu varsayılır.
station_information.json	Hizmet sağlayıcının tüm istasyonlarının, kapasitelerinin ve konumlarının listesini tutar.
station_status.json	İstasyondaki araç sayısı, istasyon kapasitesi, istasyonun kullanılabilirlik durumu gibi bilgileri tutar.
vehicle_status.json	Araçların uygunluk bilgisini tutar. Verilerin mümkün mertebe gerçek zamanlı olması gerekmektedir. İstasyonsuz hizmetler için zorunludur.
system_regions.json	Bölge bilgilerini tutar.
system_pricing_plans.json	Hizmet fiyatlarını tutar.
system_alerts.json	Hizmetteki kesintilere (örneğin hava şartları nedeniyle hizmet verilememesi) ilişkin bilgilendirmeleri tutar.
geofencing_zones.json	Hizmet bölgesi sınırlarına ilişkin bilgi ve kuralları tutar.

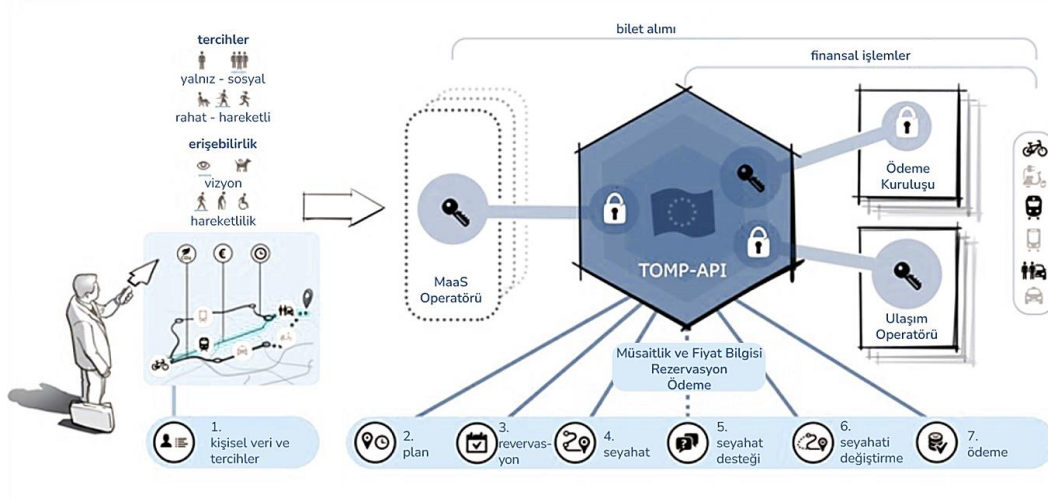
GBFS hiyerarşi diyagramı Şekil 4'te detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 4. GBFS hiyerarşi diyagramı.

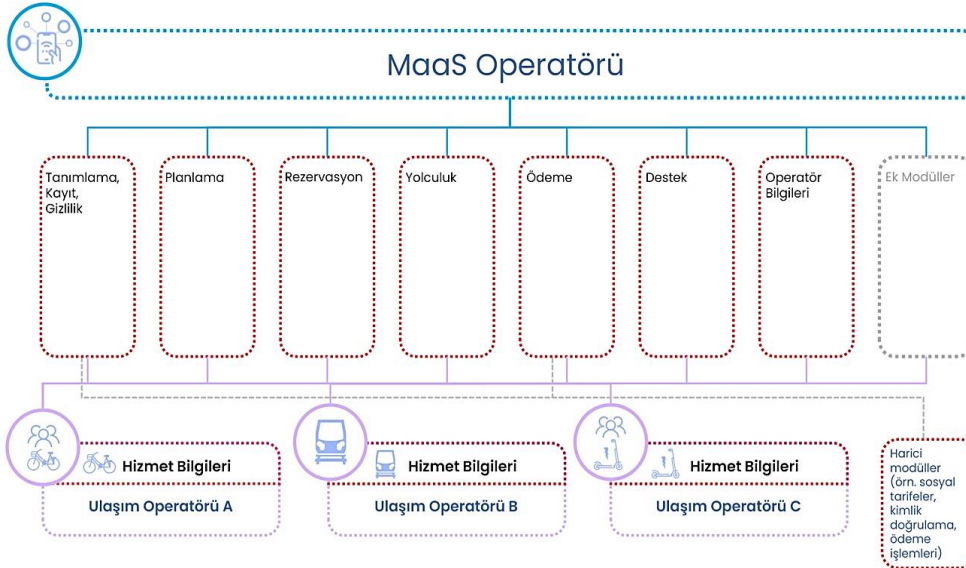
### 2.3. Transport Operator to Mobility-as-a-Service Provider API – TOMP API

TOMP-API ya da Türkçe ifadesi ile Ulaşım Operatörlerinden Hizmet Olarak Hareketlilik Operatörlerine Uygulama Programlama Arabirimi, ulaşım hizmet sağlayıcılar ile MaaS operatörleri arasındaki veri alışverişini standartlaştırmayı hedefleyen teknik bir arabirimdir. MaaS için TOMP-API, çeşitli ulaşım hizmetlerinin tek bir platformda kusursuz entegrasyonunu sağlayan güçlü bir araçtır. TOMP-API farklı mobilite hizmet sağlayıcıları ve MaaS platformları arasındaki iletişimi ve veri alışverişini kolaylaştıran standartlaştırılmış bir arayüzdür. Programlar, rotalar ve kullanılabilirlik gibi temel ulaşım bilgilerine gerçek zamanlı erişim sağlayarak MaaS ekosistemindeki birden fazla hizmet sağlayıcı arasında etkili koordinasyon ve iş birliğine olanak tanır. 2017 yılında Hollanda Altyapı ve Su Yönetimi Bakanlığı tarafından başlatılan yedi hizmet olarak hareketlilik pilot uygulamasının geliştirme çalışmaları kapsamında, uygulamaların kolaylaştırılması için paydaşların bir standardizasyon için iş birliği yapması zorunluluğu ile ortaya çıkmıştır (TOMP WG, 2024). Şekil 5'te TOMP-API diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. TOMP-API diyagramı (TOMP WG, 2024).

TOMP-API'nin işlevsel blokları ile ilgili detaylar Şekil 6'da verilmiştir.



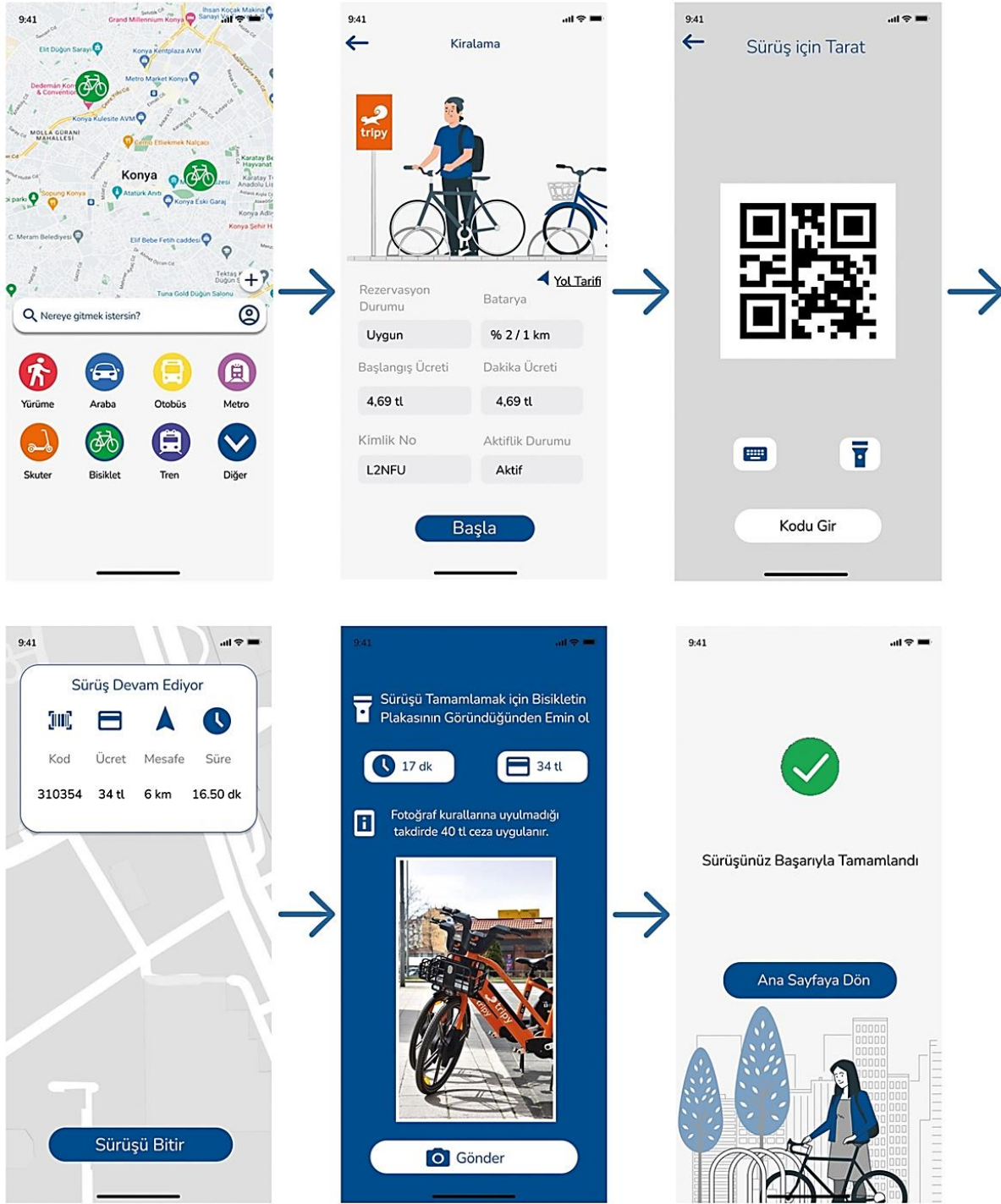
Şekil 6. TOMP-API'nin işlevsel blokları (International Transport Forum, 2024).

### 3. Materyal ve Metot

Yapılan çalışma sonucu geliştirilen uygulama ile 2. seviye MaaS hizmeti sunmak hedeflenmektedir ve 2. seviye MaaS uygulamaları kullanıcıların farklı ulaşım seçeneklerini rezerve etmelerine ve ödeme yapmalarına olanak tanımaktadır. Daha çok bilgi seviyesi entegrasyonlar için uygun olan GBFS ve GTFS veri standartları, rezervasyon, ödeme gibi işlemleri desteklememektedir. TOMP-API ise genel bir MaaS standartları kümesi sunmaktadır. Ancak, Türkiye'nin MaaS platformu olan TRota uygulaması özelinde 2. seviye entegrasyon konularının araştırma sürecinde TOMP-API'nin tüm operatörler için, kapsamlı, uçtan uca ve tüm süreçleri karşılayan bir araç olmadığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda bir mobilite ekosistemi içerisinde her türlü ulaşım hizmetinin 2. seviyede kusursuz entegrasyonunu, iş birliğini ve her aşamayı kapsayan methodlar yardımı ile genişletilmesini destekleyen dönüştürücü bir aracın geliştirilmesi bu çalışma ile hedeflenmektedir.

TRota'yı geliştirme çalışmaları sürecinde Türkiye'deki mikromobilité operatörlerinin kullandığı bir standardın bulunmadığı, operatörlerin arasında iş süreçleri ve veri gereksinimleri açısından önemli ölçüde farklılıklar olduğu saptanmıştır. Görüşme sağlanan mikromobilité operatörlerin her biri, kendi özel iş akışlarına ve veri alanlarına sahiptir. GBFS ve GTFS'nin rezervasyon ve ödeme süreçlerini desteklemedeki yetersizlikleri göz önünde bulundurulduğunda, TOMP-API standardının 2. seviye bir MaaS uygulaması için yukarıda bahsedilen ihtiyaçlar çerçevesinde geliştirilebilir olduğu değerlendirilmektedir.

Ancak, TOMP-API'nin de ödeme metotlarının her operatörün kullanabileceği standartlar sunmadığı, bu kapsamda eksiklikler olduğu ve Türkiye'deki uygulanabilirliği ile ilgili bazı risklerin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, TOMP-API'nin temel yapısını kullanarak, her bir operatörün spesifik ihtiyaçlarına uyacak şekilde API'yi özelleştirme ihtiyacı doğmuştur. Özelleştirme, operatörün özel veri alanlarını desteklemek, iş süreçlerini entegre etmek ve doğru bilgilerin iletilmesini sağlama üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örneğin, bir operatörün rezervasyon sistemine özgü parametreleri içeren ek veri alanları eklemek veya belirli bir operatörün ödeme doğrulama süreçlerini entegre etmek gibi özelleştirmeler yapılmıştır. Bu özelleştirmelere ilişkin detaylara 3. Yapılan Geliştirmeler bölümünde yer verilmiş ve açık kaynak olarak yayınlanmıştır (TROTA API, 2024). TRota platformu için yapılan bu geliştirmeler sonucu ortaya çıkan servis standardı TRota API olarak adlandırılmaktadır. Şekil 7'de TRota uygulaması ile ilgili uygulama görselleri verilmiştir.

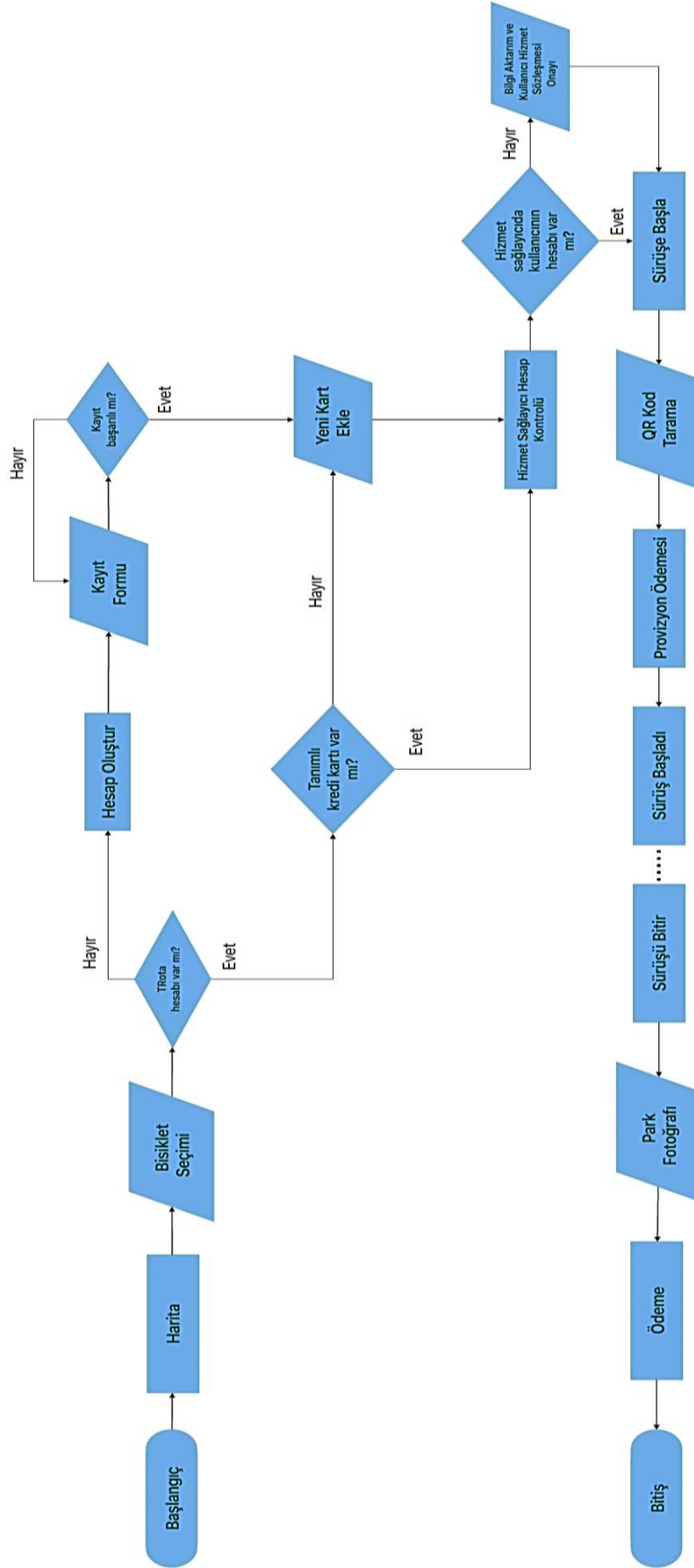


Şekil 7. TRota uygulama örneği.

### 3.1. İkinci seviye entegrasyon ile TRota'da paylaşımlı mikromobilité aracı kiralama iş akışı

2. Seviye entegrasyon ile TRota'da paylaşımlı mikromobilité aracı kiralama iş akış şeması Şekil 8'de verilmiştir. TRota API operatörün kim olduğundan bağımsız olarak bu akıştaki işlemlere karşılık gelen veri sunan servis altyapısını standartlaştırarak sunmaktadır.





Şekil 8. 2. Seviye entegrasyon ile TRota’da paylaşımlı mikromobilité aracı kiralama iş akışı.

### 3.2. Türkiye'nin MaaS platformu TRota API geliştirmelerinin faydaları

Türkiye'nin MaaS platformu için TRota API geliştirmelerinin faydaları etkin veri paylaşımı, ileri seviye birlikte çalışabilirlik ve optimize edilmiş kaynak kullanımı olarak sıralanabilir. Elde edilecek faydaların detayları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

- **Etkin Veri Paylaşımı:** TRota API, kritik verilerin alışverişini kolaylaştırarak MaaS platformlarının çeşitli ulaşım kaynaklarından gelen bilgileri sorunsuz bir şekilde toplamasına ve görüntülemesine olanak tanır. Bu sayede gelişmiş kullanıcı deneyimine imkân sağlar.
- **İleri Seviye Birlikte Çalışabilirlik:** Türkiye MaaS endüstrisindeki paydaşlar, TRota API'yi uygulayarak, temel teknolojileri veya altyapıları ne olursa olsun çeşitli hizmet ve sistemlerin entegrasyonuna olanak tanıyan daha fazla birlikte çalışabilirlik elde edebilir.
- **Optimize Edilmiş Kaynak Kullanımı:** TRota API'nin kullanılmasıyla MaaS platformları, farklı ulaşım modlarında kaynak tahsisini ve kullanımını optimize ederek son kullanıcılar için verimli ve sürdürülebilir mobilite çözümleri geliştirebilir.

### 3.3. TRota API Yetenekleri

- **Gerçek Zamanlı Veri Erişimi:** TRota API, ulaşım verilerine gerçek zamanlı erişim sunarak MaaS platformlarının kullanıcılarına mevcut hizmetler, programlar ve konular hakkında doğru ve güncel bilgiler sunmasına olanak tanır.
- **Standardizasyon:** TRota API, endüstri standardı veri alışveriş formatlarına ve protokollerine bağlı kalarak, farklı ulaşım hizmetleri arasında tutarlılığı ve uyumluluğu teşvik ederek entegrasyon süreçlerini kolaylaştırır ve genel sistem güvenilirliğini artırır.
- **Dinamik Hizmet Genişletme:** TRota API ile Türkiye'nin ilk MaaS'ı, yeni hizmet sağlayıcıları entegre ederek hizmet tekliflerini ve ödeme altyapısını kolayca genişletebilir, bu da son kullanıcılar için mevcut mobilite seçeneklerinin sürekli büyümesine ve çeşitlenmesine olanak tanır.

### 3.4. Mikromobilite ulaşım operatörlerinin iş süreçleri açısından benzerlikleri ve farklılıkları

2. seviye MaaS hizmeti sunması hedeflenen TRota uygulaması özelinde 2. Seviye entegrasyon kapsamında, sektördeki çeşitliliği anlamak ve entegrasyon sürecini kolaylaştırmak için sektörün önde gelen mikromobilite operatörlerinin iş süreçleri incelenmiş ve iş akış süreçlerindeki mobil uygulama odaklı yaklaşımları, kiralama ve ödeme süreçleri ve sürüş sonrası işlemlerinin benzerlik gösterdiği fakat operatörler arasında farklı Software Development Kit – Yazılım Geliştirme Kiti (SDK) bağımlılıklarının olduğu ve web standartları arasında farklılıkların bulunduğu görülmüştür. En belirgin farklardan biri, bisiklet veya skuterler için kilit açma sürecindedir. Bazı paylaşım araç operatörleri araç kodunu içeren QR kodun okutulması veya araç üzerinde yazılı kodun ekrana girilmesi ile kilidi açarken, bazı paylaşım araç operatörlerinde aracın kilidini açmak için bluetooth teknolojisi kullanılmaktadır ve bu da birçok farklı sağlayıcı ile entegrasyon gerektiren platformlar için SDK bağımlılığına sebep olmaktadır. Bu farklı yaklaşımlar, iş süreçlerinde uyum sorunlarına yol açabilmekte, uygulama boyutunu artırmakta, performansı düşürmekte ve Uygulama Programlama Arayüzü – Application Programming Interface (API) entegrasyonunu karmaşık hâle getirmektedir. Ayrıca, operatörlerin kullandığı web servis standartları da çeşitlilik göstermektedir. Bazıları RESTful API'ları tercih ederken, diğerleri SOAP protokolünü kullanmaktadır. Bu farklılıklar, veri iletimi ve iş süreçlerinin entegrasyonunda zorluklar yaratmaktadır. Bununla birlikte, bilgi seviyesi entegrasyonlar için uygun olan GBFS ve GTFS veri standartları, rezervasyon, ödeme gibi işlemleri desteklememektedir. TOMP-API'nin de tüm operatörler için kapsamlı ve uyumlu bir çözüm sunmadığı göz önüne alındığında, operatörler arasındaki bu

farklılıkların etkili bir şekilde yönetilmesi ve iş süreçlerinin uyumlu hâle getirilmesi için tek bir entegre API oluşturma hedefi belirlenmiştir. Bu entegre API, farklı operatörlerin sistemlerini bir araya getirerek, kullanıcıların daha sorunsuz bir şekilde geçiş yapmasını sağlayacak ve mikromobilité sektöründe daha iyi bir deneyim sunacaktır.

#### 4. TRota API – MaaS Platformu Entegrasyonu Süreçleri ve Riskler

Geliştirilen TRota API – MaaS platformu Trota API dokümantasyonu, geliştirme-test ve dağıtım, izleme olarak belirlenen entegrasyon süreçleridir. Belirlenen bu entegrasyon süreçleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

- **Trota API Dokümantasyonu:** Uç noktalar, kimlik doğrulama yöntemleri, mevcut veri alanları ve en iyi uygulamalar da dahil olmak üzere entegrasyon süreci hakkında kapsamlı bilgiler sağlayan Trota API belgelerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi entegrasyon sürecinin başlangıcında izlenecek ilk adım olarak karşımıza çıkmaktadır.
- **Geliştirme ve Test:** TRota API uç noktaları paydaşlar tarafından analiz edilmeli, MaaS platformuna uygulamak için geliştirme ve test aşamaları çalışmaları yapılmalıdır. MaaS hizmeti ile diğer ulaşım operatörleri arasında kesintisiz bağlantı ve veri alışverişi sağlanmalıdır.
- **Dağıtım ve İzleme:** Entegre TRota API çözümünün MaaS platformu üzerinden dağıtılması ve veri akışını, sistem performansını ve kullanıcı etkileşimlerini takip etmek için izleme mekanizmaları oluşturulması süreçlerini kapsar. Entegre hizmetleri izlemek TRota API sayesinde kolaylaşacaktır.

##### 4.1. TRota API – MaaS platformu entegrasyonunda potansiyel riskler

TRota API entegrasyonu, Türkiye'de toplu taşıma ve mikromobilité hizmetlerini kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kapsamlı entegrasyon, önemli faydalar sağlamakla birlikte, bazı potansiyel riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu riskleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- **Yasal ve Düzenleyici Riskler:**
  - Mevcut yasal düzenlemelerin yetersizliği: Türkiye'de, toplu taşıma ve mikromobilité verilerinin paylaşımı ve kullanımı ile ilgili yasal düzenlemeler henüz tam olarak oturmuş değildir. Bu durum, TRota-API entegrasyonunda belirsizliklere ve uyumluluk sorunlarına yol açabilir.
  - Veri gizliliği ve güvenliği: TRota-API aracılığıyla paylaşılan kişisel verilerin korunması ve güvenliğinin sağlanması önemli bir risktir. Bu risk, veri ihlalleri, siber saldırılar veya kötüye kullanım gibi tehditlerle ortaya çıkabilir.
- **Teknik Riskler:**
  - Standartlar Uyumluluğu: TRota API'nin tüm operatörler tarafından tam olarak desteklenmesi ve uygulanması zor olabilir. Bu durum, verilerin farklı formatlarda sunulmasına ve entegrasyon sorunlarına yol açabilir.
  - Veri Kalitesi: TRota API aracılığıyla paylaşılan verilerin kalitesi ve doğruluğu önemlidir. Eksik, hatalı veya güncel olmayan veriler, kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyebilir ve yanlış kararlara yol açabilir.
  - API Güvenliği: TRota API'nin güvenliği ve erişim kontrolü sağlanması önemlidir. Yetkisiz erişim veya kötü niyetli kullanımlar, sistemin güvenliğini tehlikeye atabilir.



- Teknik Ekip Yetersizliği: Belediyelerde veya operatörlerde uygun veri standardı olmasına karşın teknik ekip yetersizliği, entegrasyon sürecini zorlaştırabilir.
- **Operasyonel Riskler:**
  - Operatör İş birliği: TRota API ‘nin Türkiye’de yaygın olarak kullanılması için tüm operatörlerin iş birliği ve koordinasyonu gereklidir. İşbirliğini eksikliği veya gecikmeler, entegrasyon sürecini uzatabilir ve zorlaştırabilir.
  - Değişen gereksinimler: Operatörlerin gereksinimleri ve öncelikleri zamanla değişebilmektedir. Bu durum da TRota API’nin sürekli olarak güncellenmesini ve uyarlanmasını gerektirmektedir.
  - Maliyetler: TRota API entegrasyonu, veri toplama, işleme, depolama ve paylaşımı için önemli maliyetler gerektirebilir. Bu maliyetler, özellikle küçük operatörler için bir engel oluşturabilir.
- **Ticari Riskler:**
  - Kısa Vadeli Gelir Eksikliği: Standartlara uyumun ticari bakış açısından kısa vadede net gelir getirmeyeceği ancak uzun vadede entegrasyonla hacimleri büyütebileceği riski vardır.
  - Operatörlerin Teknik Bakış Açılarındaki Farklılıklar: Operatörlerin teknik bakış açılarındaki farklılıklar, entegrasyon sürecini zorlaştırabilir ve gecikmelere yol açabilir.
  - Platformlar Arası Araç Paylaşımı Yeteneği: TRota-API standardına uyumla birlikte farklı platformlar üzerinden araç paylaşımı yapabilme yeteneği kazanmak her organizasyonun kısa vade hedefleri arasında yer almayabilir. Bu konularda bir mutabakat süreci yürütmek önem arz etmektedir.

#### 4.2. TRota API Uygulamasında Risklerin Azaltılması İçin Alınan Önlemler

Bu riskler önceden göz önünde bulundurularak yeni bir API geliştirme, standarttan sapma ve özelleştirme avantajlarını değerlendirme kararı alınmıştır. Bu risklere karşı operasyonların spesifik ihtiyaçlarına göre yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki önlemler alınmıştır:

- GBFS ve TOMP-API’de bulunan bisiklet kiralama süreçlerini ve canlı varlık durumunu daha etkili bir şekilde yönetmek için bir API standardı geliştirilmiştir.
- TOMP-API ve benzer standartlar ödeme entegrasyonlarını kapsam dışı bırakmaktadır. Bu nedenle, güvenli ödeme işlemlerini ve kullanıcı kimlik doğrulamasını içeren bir ekstra katman eklenmiştir.
- TOMP-API’nin güncellemelerle ilgili zayıf olduğu noktalarda, gerçek zamanlı veri güncellemelerini ve dinamik durum değişikliklerini destekleyen MaaS Analiz uygulaması geliştirilmiş ve ilgili API üzerinden entegrasyon sağlanmıştır.

#### 4.3. TRota API Uygulamasında Risklerin Azaltılması İçin Alınacak Önlemler

TRota API entegrasyonu çalışmaları kapsamında belirlenen potansiyel riskleri önceden tespit ederek gerekli önlemleri almak, entegrasyon sürecinin sorunsuz bir şekilde ilerlemesini ve TRota API’nin başarılı bir şekilde uygulanmasını sağlayacaktır. Bu çerçevede ilave olarak alınması gereken önlemler aşağıda verilmiştir.

- Yasal ve düzenleyici risklerin üstesinden gelmek için toplu taşıma ve mikromobilitte verilerinin paylaşımı ve kullanımını düzenleyen yasal düzenlemeler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.
- Aynı şekilde, kişisel verilerin korunması ve güvenliği için güçlü güvenlik önlemleri hayata geçirilmelidir.
- Teknik riskleri en aza indirmek için tüm operatörlerin TRota API'yi uyumlu bir şekilde kullanması için zorunlu sertifikasyon programları uygulanmalı ve düzenli kalite kontrol mekanizmaları oluşturulmalıdır.
- Operasyonel riskleri azaltmak ve operatörler arasında iletişimi artırmak için iş birliği teşvik programları ve düzenli bilgilendirme toplantıları düzenlenmelidir.
- Ticari riskleri azaltmak için operatörlere TRota API entegrasyonunun uzun vadeli faydaları açıkça anlatılmalı ve pilot projeler aracılığıyla faydaları gösterilmelidir.

Sonuç olarak, bu önlemler TRota API entegrasyonunun risklerini minimize ederek Türkiye'de daha verimli, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu bir ulaşım sistemi oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

## 5. Sonuç

Yapılan çalışma ile hizmet olarak hareketlilik konsepti için literatürdeki gelişmeler ve uygulamalar için kullanılan veri standartları incelenmiştir. İnceleme ile yerli 2. Seviye hizmet olarak hareketlilik uygulaması geliştirilmiştir. Bu çalışmada yerli ve milli olarak TRota uygulaması ve TRota API geliştirilmiştir. TRota ile gerçek zamanlı veri erişimi sağlayan TRota API, ulaşım verilerine gerçek zamanlı erişim sunarak MaaS platformunun kullanıcılarına mevcut hizmetler, programlar ve konular hakkında doğru ve güncel bilgiler sunmasına olanak sağlamaktadır. Standardizasyon açısından bakıldığında ise TRota API, endüstri standardı veri alışverişi formatlarına ve protokollerine bağlı kalarak, farklı ulaşım hizmetleri arasında tutarlılığı ve uyumluluğu teşvik ederek entegrasyon süreçlerini kolaylaştırmakta ve genel sistem güvenilirliğini artırmaktadır. İlave olarak dinamik hizmet genişletme açısından TRota API ile Türkiye'nin ilk MaaS'ı, yeni hizmet sağlayıcıları entegre ederek hizmet tekliflerini ve ödeme altyapısını kolayca genişletebilir, bu da son kullanıcılar için mevcut mobilite seçeneklerinin sürekli büyümesine ve çeşitlenmesine olanak tanımaktadır. Bu uygulamanın riskler açısından alınan ve alınması gereken önlemler TRota-API entegrasyonunun risklerini minimize ederek Türkiye'de daha verimli, sürdürülebilir ve kullanıcı dostu bir ulaşım sistemi oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Türkiye'nin ilk yerli ve milli, 2. Seviye MaaS uygulaması olması planlanan TRota' da; şehirlerarası ve şehir içi toplu taşıma, paylaşımli bisiklet, e-bisiklet ve e-skuter ve araç kiralama dahil olmak üzere çeşitli ulaşım modları tek bir uygulamada kullanıcılara sunulacak; bilgi edinme, rezervasyon ve ödeme gibi işlemlere aracılık edilecek ve kullanıcılara uçtan uca bir deneyim sağlanacaktır.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

## Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, PTT Teknoloji tarafından yürütölen ve T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Araştırmaları Merkezi – UDHAM'ın AUS-2022/01: Hizmet Olarak Hareketlilik (MaaS-Mobility as a Service) çağrısı kapsamında UDHAM tarafından desteklenen bir Ar-Ge projesi olan Hizmet Olarak Hareketlilik (Mobility as a Service – MaaS) Uygulaması TRota için yapılan araştırma geliştirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. PTT Teknoloji çalışanlarına,

Karabük Üniversitesinde görev yapan hocalarımıza, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Haberleşme Genel Müdürlüğü'ne ve UDHAM'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

### Çıkar Çatışması Beyanı

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

### Kaynaklar

**Cruz, C. O., & Sarmiento, J. M.** (2020). "Mobility as a service" platforms: A critical path towards increasing the sustainability of transportation systems. *Sustainability*, 12(16), 6368. <https://doi.org/10.3390/su12166368>.

**International Transport Forum.** Mix and MaaS - Data Architecture for Mobility as a Service. Erişim: 13 Şubat 2024. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/mix-maas-mobility-service-final.pdf>

**İstanbul Planlama Ajansı,** Kent Gündemine Bakış: İstanbul'da Sürdürülebilir Ulaşım Doğru. Erişim: 27 Şubat 2024, <https://ipa.istanbul/wp-content/uploads/2023/11/KENT-GUNDEMI-SURDURULEBILIR-ULASIM-2.pdf>.

**Hazan, J., Lang, N., El, H. ve Chraibi, A.,** Seeking Perpetual Motion with Mobility as a Service. Erişim: 12 Şubat 2024. [https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-Seeking-Perpetual-Motion-with-Mobility-as-a-Service-Mar-2019\\_tcm9-215903.pdf](https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-Seeking-Perpetual-Motion-with-Mobility-as-a-Service-Mar-2019_tcm9-215903.pdf).

**Heikkilä, S.,** Mobility as a Service - A Proposal for Action for the Public Administration, Case Helsinki", 2014. Erişim: 16 Şubat 2024, <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201405221895>

**General Bikeshare Feed Specification (GBFS).** Mobility Data. Erişim: 13 Şubat 2024. <https://github.com/MobilityData/gbfs/blob/master/gbfs.md>

**GTFS Background.** Erişim: 31 Ocak 2024. <https://gtfs.org/background/>

**GTFS, Why Use GTFS?.** Erişim: 05 Şubat 2024. <https://gtfs.org/>

**GTFS Schedule Reference.** Erişim: 05 Şubat 2024. <https://gtfs.org/schedule/reference/>

**Kayikci, Y., & Kabadurmus, O.** (2022). Barriers to the adoption of the mobility-as-a-service concept: The case of Istanbul, a large emerging metropolis. *Transport policy*, 129, 219-236. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.10.015>.

**Koca, M.** (2024). Real-Time Security Risk Assessment From CCTV Using Hand Gesture Recognition. *IEEE Access*, 12, 84548-84555. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3412930>.

**MaaS Alliance.** (2017). *White Paper 'Guidelines & Recommendations to create the foundations for a thriving MaaS Ecosystem*.

**Macedo, E., Teixeira, J., Gather, M., Hille, C., Will, M. L., Fischer, N., & Bandeira, J. M.** (2022). Exploring relevant factors behind a MaaS scheme. *Transportation Research Procedia*, 62, 607-614. <https://doi.org/10.1016/2007.05.004>.

**McHugh, B.** (2013). Pioneering Open Data Standards: The GTFS Story. *Beyond Transparency*, B. Goldstein ve L. Dyson, Ed., San Francisco: Code for America Press.

**Mobility Data.** What is GBFS?. Erişim: 31 Ocak 2024. <https://github.com/MobilityData/gbfs>

**Sochor, J., Arby, H., Karlsson, I. M., & Sarasini, S.** (2018). A topological approach to Mobility as a Service: A proposed tool for understanding requirements and effects, and for aiding the integration of

societal goals. *Research in Transportation Business & Management*, 27, 3-14. doi: 10.1016/j.rtbm.2018.12.003.

**TOMP WG.** Blueprint for an Application Programming Interface (API) from Transport Operator to MaaS Provider. Erişim: 05 şubat 2024. [https://github.com/TOMP-WG/TOMP-API/blob/master/documents/201005%20-%20Blueprint%20for%20the%20TOMP-API%E2%80%93Version%20Dragonfly%20\(1.0.0\).pdf](https://github.com/TOMP-WG/TOMP-API/blob/master/documents/201005%20-%20Blueprint%20for%20the%20TOMP-API%E2%80%93Version%20Dragonfly%20(1.0.0).pdf)

**TROTA.** TROTA API. <https://web.archive.org/web/20240704094102/https://trota.com.tr/trota-api/>

**Xu, Y., Yan, X., Sisiopiku, V. P., Merlin, L. A., Xing, F., & Zhao, X.** (2020). Micromobility trip origin and destination inference using general bikeshare feed specification (gbfs) data. *arXiv preprint arXiv:2010.12006*.

## Araştırma Makalesi

# Havayolu Operasyonlarında DEA Yöntemi ile Yeni Uçuş Rotasının Belirlenmesi

Ali Akbaba<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Airline Management, Topkapı University, Istanbul, Turkey

\*Correspondence: [jitsa@bandirma.edu.tr](mailto:jitsa@bandirma.edu.tr)

DOI: 10.51513/jitsa.1524224

**Özet:** Havayolu işletmelerinin faaliyetlerine devam edebilmeleri için büyümeleri kritik öneme sahiptir. Taşınan yolcu sayısını ve/veya kargo miktarını bir önceki döneme göre arttırmak pazardan daha fazla pay almanın yollarından biridir. Havayolları bir önceki döneme göre daha fazla yolcu veya kargo taşıyarak büyüme hedeflerine ulaşabilir. Uçak ve ekip kaynağını ilave yolcu seferi ile değerlendirmek daha fazla yolcu ve/veya kargo taşımak anlamına gelmektedir. Bu noktada potansiyel uçuş rotaları arasında maksimum kar edecek olanın seçilmesi kaynağın optimum değerlendirilmesinde önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı havayolu sektöründe uçak kaynağının optimum fayda sağlayacak şekilde kullanılması için DAE (data envelopment analysis) yönetimi ile potansiyel uçuş rotaları arasından gelir ve gider temelinde etkin olanların seçilerek bunlar arasından uçuş saati ve transit yolcu sayısı gibi faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda sefer düzenlenecek uçuş rotasının belirlenmesi olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren bir havayolunun 2022 verileri kullanılmıştır. Çalışma iki fazdan oluşmaktadır. İlk fazda havayolunun 2022 verileri ile üç aşamalı olarak DAE yöntemi ile etkin olan uçuş rotaları belirlenmektedir. İkinci fazda ise havayolunun 2022 yılı verileri ile hesaplanan ortalama uçuş saati ve transit yolcu sayısı faktörleri değerlendirilerek etkin olarak belirlenen uçuş rotaları arasından sefer düzenlenecek uçuş rotasına karar verilmiştir. Çalışma sonucunda havayollarının yeni uçuş rotası belirlerken etkinlik değerlendirmesinde DAE yönteminin uçuş rotası ile ilgili diğer faktörler ile birlikte kullanılabilceği belirtilebilmektedir.

**Key words:** Havayolu uçuş rotası, etkinlik, Veri zarflama analizi, Uçuş gelirleri, uçuş giderleri, transit yolcu

## Determination of New Flight Route with DEA Method in Airline Operations

**Abstract:** For airline companies to continue their operations, their growth is of critical importance. Increasing the number of passengers transported and/or cargo volume compared to the previous period is one way to gain a larger share of the market. At this point, selecting the most profitable potential flight routes is crucial in optimizing resource utilization. The aim of this study can be expressed as the determination of the flight route to be organized as a result of the evaluation of factors such as flight hours and transit passenger numbers among the potential flight routes selected with DAE (data envelopment analysis) management in order to use the aircraft resource in the airline sector in a way that will provide optimum benefit and the flight route to be organized. In this study, 2022 data of an airline operating in Turkey was used. The study consists of two phases. In the first phase, the effective flight routes are determined with the DAE method in three stages with the airline's 2022 data. In the second phase, the average flight hour and transit passenger number factors calculated with the airline's 2022 data were evaluated and the flight route to be organized among the effectively determined flight routes was decided. As a result of the study, it can be stated that the DEA method can be used together with other factors related to flight routes when airlines determine new flight routes.

**Key words:** Airline flight route, efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), flight revenues, flight expenses, transit passengers.

\* Corresponding author.

E-mail address: [ali.akbaba75@gmail.com](mailto:ali.akbaba75@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1745-8029 (in hierarchical order)

Received 29.07.2024; Received in revised form 17.10.2024; Accepted 22.10.2024

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University. This work is licensed under CC BY 4.0.

## 1. Giriş

Havayolu işletmeleri ilave tarifeli yolcu ya da kargo seferi düzenleyerek mevcut uçak kaynaklarını değerlendirmektedirler. Hangi uçuş rotalarını tercih edeceklerini belirlemek amacıyla stratejilerine uygun belirli soruların cevaplarını bulmak için aşağıdaki süreçlerden oluşan bir araştırma yapmaktadırlar (URL1). Bu süreçler genel olarak pazar analizi ve rekabet analizi, transit yolcu potansiyeli, uçak mevcudiyeti gibi aşamaları içermektedir. Bu çalışmanın amacı havayolu sektöründe uçak kaynağının optimum fayda sağlayacak şekilde kullanılması için DAE (data envelopment analysis) yönetimi ile potansiyel uçuş rotaları arasından gelir ve gider temelinde etkin olanların seçilerek bunlar arasından uçuş saati ve transit yolcu sayısı gibi faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda sefer düzenlenecek uçuş rotasının belirlenmesi olarak ifade edilebilir.

Çalışma bir havayolunun uçak kaynağını en optimum şekilde değerlendirmek için potansiyel uçuş rotaları ile ilgili pazar araştırması yaptığı varsayımı ile yürütülmüştür. Pazar araştırması sonucu elde edilecek talep tahmini değerleri için bir havayolunu ilgili uçuş rotaları ile ilgili 2022 verileri kullanılmıştır. Sektörde Pazar araştırması yapılırken halihazırda bu rotalara seferi olan tüm havayollarının verileri araştırılır. Potansiyel uçuş rotalarına uçuşu olan tüm havayollarının talep verilerine ulaşmanın zorluğu nedeniyle Türkiye’de faaliyette bulunan bir havayolunun operasyon kontrol merkezinde 2022 yılı verileri ile çalışma yürütülmüş ve bu verilerin ilgili uçuş rotaları için (DMUs) talep tahmini olduğu varsayılmıştır. Araştırma iki fazdan oluşmaktadır. İlk fazda üç aşamadan oluşmaktadır ve her aşamada potansiyel uçuş rotalarının (DMUs-Decision Making Unit)) 2022 verilerine göre belirlenmiş gelirlerinin ve giderlerinin DEA yöntemi ile göreceli etkinlik ölçümü yapılmıştır. İkinci fazda ise DEA yöntemi ile etkin olarak belirlenen uçuş rotaları arasından ortalama uçuş saati ve transit yolcu tahminleri değerlendirilerek hangi uçuş rotasına sefer düzenleneceğine karar verilmiştir.

Bu çalışmada havayollarının uçuş rotası seçiminde DEA yöntemi kullanılarak etkinlik ölçümü yapılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda DEA yönteminin en etkin olan uçuş rotasının belirlenmesi için uygun olmadığı, Fakat en etkin rotanın belirlenmesi için DAE yöntemi ile etkin olmayan uçuş rotaları elenerek uçuş ile ilgili diğer faktörlerin de değerlendirilmesi sürecine katkı sağlanabileceği belirlenmiştir. En etkin rotanın belirlenmesi için öncelikle DAE yöntemi ile etkin olmayan uçuş rotaları elenmektedir. Daha sonra etkin olan rotalar uçuş ile ilgili diğer faktörler analiz edilerek optimum uçuş rotası belirlenmiştir. Bu çalışmada uçuş ile ilgili uçuş saati ve transit yolcu faktörleri değerlendirilmiştir. Bunun dışında operasyon ile ilgili müsaade ve/veya slot temin edebilme kolaylığı gibi faktörler de değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada bu başvurular gerçek uçuş planlaması gibi yapılamayacağından ikinci fazda sadece iki faktör dikkate alınmıştır. Çalışma sonunda DEA yönteminin etkin olan uçuş rotalarını belirleyerek potansiyel uçuş rotaları arasında eleme yapılabilmesinde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. En etkin rotanın belirlenmesi için DAE yöntemi ile etkin olmayan uçuş rotaları elenerek uçuş ile ilgili diğer faktörlerin de değerlendirilmesi sürecine katkı sağlanabileceği bildirilmiştir. DEA yöntemi ile uçuş saati ve transit yolcu talebi, müsaade ve/veya slot temin edebilme kolaylığı, uçak performansı ile havaalanı kolaylıklarının uyumluluğu gibi faktörler gözönünde bulundurularak yeni rota seçiminde karar verilebilir.

## 2. Literatür Taraması

Havayolu işletmelerinde rota etkinliğinin belirlenmesinde DAE yöntemi ile ilgili çalışmalar yer bulmuştur. Rota seçiminde pazar araştırması sonucu yapılan talep tahminleri ve uçuş saati gibi uçuş operasyonu ile ilgili faktörler önem arz etmektedir. Bu çalışmanın temelinde Pazar araştırması, DEA yöntemi ve uçuş rotası kararını etkileyen uçuş saati ve transit yolcu tahmini yer almaktadır.

### 2.1. Havayolu işletmelerinde yeni uçuş rotası belirlenmesi süreci

Havayolu işletmeleri ilave tarifeli yolcu ya da kargo seferi düzenleyerek mevcut uçak kaynaklarını değerlendirmektedirler. Hangi uçuş rotalarını tercih edeceklerini belirlemek amacıyla stratejilerine uygun belirli soruların cevaplarını bulmak için aşağıdaki süreçlerden oluşan bir araştırma yapmaktadırlar (URL 1).

### 2.1.2 Talep Tahmini ve Rekabet analizi

Havayolu işletmeleri ilave uçak kaynağını değerlendirmek istediğinde öncelikle networklerine uygun olarak potansiyeli mevcut olan uçuş rotalarını belirlemektedir. Uçuş rotaları yolcu talebi, kargo talebi, ağ yapısı, maliyet etkinliği gibi faktörlere göre belirlenmektedir (URL 2). Havayolu işletmeleri ağ yapısına yeni bir uçuş rotası eklerken tahmini talebin ne olacağını bilmek istemektedirler. Talep tahmininin belirlenmesi için market analizi yapmak kritik öneme sahiptir. Havayolu sektöründe uçuş rotası belirlemede yolcu talep tahmini için uygulanan bir çok model mevcuttur. Bu modeller genel olarak mevcut yolcu veya kargo miktarı verileri temel alınarak talep tahmini yapmayı içermektedir (Gunter and Zekan, 2021). Bu verilerin kaynaklarından biri ilgili uçuş rotalarına halihazırda sefer düzenleyen havayollarıdır. Bir diğer kaynak ise ICAO, IATA ve uçuşun düzenleneceği havacılık otorisi gibi kurumlardan gelen sektör verileri olarak bildirilebilir; ilgili uçuş rotasında taşınan toplam yolcu sayısı, mevsime göre yolcu sayısındaki trendler, ücretler, bağlantılı uçuş olanakları havayolunun uçuş rotasına karar vermesinde önemlidir (Madhavan vd., 2020).

Havayolu işletmeleri market analizi yaparken özellikle rekabet seviyesi de araştırılmaktadır. Rekabet analizi havayolu için özellikle fiyatlandırma ve doluluk oranı tahminlerini belirleyerek uçuş rotası ile ilgili sefer kararının verilmesine katkı sağlayacaktır. Rekabetin yoğun olduğu havaalanlarında bilet ücretleri rekabettten etkilenecek yada düşük doluluk oranına neden olabilecektir (Wenliang Ma vd., 2019). Bu da havayolunun ilgili uçuş hattında elde edeceği karın düşük kalmasına neden olabilir. Dolayısıyla, havayolu şirketinin ölçeği veya network ağı rekabetin yoğun olduğu veya daha az yoğun olduğu uçuş rotası seçiminde etkili olacaktır (URL 3).

### 2.1.2 Transit Yolcu Potansiyeli

Genel olarak havayollarının bir yada iki merkezi mevcuttur. Havayolları uçuş ağının merkezi olan havaalanında (HUB-Havayolu Bağlantı Merkezi) aktarma uçuşları sayesinde transit yolculardan ilave gelirler elde edilebilirler (URL4). Dolayısı ile potansiyel uçuş rotalarının saatlerini havayolunun network'ünün uygun planlanması transit yolcu geliri açısından avantaj sağlayacaktır. Yolcular genel olarak transit uçuşlarında fazla beklemeyecekleri havayolunu tercih edeceklerdir. Yeni uçuş rotası seçiminde kaynağın optimum kullanılması boyutunda transit yolcu potansiyeli uçuş rotası karar sürecinde etkili olacaktır (URL 5).

### 2.1.3 Uçak Kaynağı Mevcudiyeti

Havayolu işletmeleri yeni bir uçuş rotasına sefer düzenlemek istediklerinde veya hali hazırda seferlerinin bulunduğu bir uçuş rotasında frekans artışına gitmek istediklerinde bir pazar araştırması yapmaktadırlar. Yapılan talep ve fiyat tahminleri sonucuna uygun uçak kaynağının mevcut olup olması uçuş rotası kararında kritik önem arz etmektedir (URL 6). Her uçak tipinin performans limitleri farklı olduğundan potansiyel uçuş rotalarının menzili, varış ve kalkış noktasındaki sıcaklıklar ve coğrafik özellikler, inilecek havaalanındaki pistin özellikleri uçak kaynağı sağlanmasında kritik etkenlerdir (Unal vd., 2021).

## 2.2. DAE Yöntemi ve Havayolu İşletmelerinde Uçuş Rotası Etkinlik Ölçümü

DAE birden fazla girdi ile birden fazla çıktı üreten benzer işletme, kurum, firma arasında göreceli olarak performans etkinliği ölçen bir yöntemdir. Etkinliği ölçülen işletme veya firmaya veya kuruma karar verme birimi denmektedir (Özçelik ve Kandemir, 2017). DAE etkinlik ölçümünü doğrusal programlama teknikleri ile parametrik olmayan ve deterministik olarak gerçekleştirmektedir (Min and Joo, 2016). DAE en az girdi ile en fazla çıktı veya aynı girdi ile daha fazla çıktı sağlayan DMU'ların ölçeğini referans alıp bir etkinlik çizgisi oluşturarak bu çizgi üzerindeki DMU'ları etkin olarak kabul etmektedir. Etkin olmayan DMU'lar için iyileştirme önerileri getirmektedir. DAE iki model olarak uygulanmaktadır (Okursoy ve Tezsürücü, 2014);

CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli; DAE ilk olarak 1978 yılında CCR modeli olarak tanıtılmıştır. Bu model teknik etkinliği ölçerken ölçeğe göre sabit getiri temelinden hareket etmektedir. Bu modelde hem girdi hem çıktı etkinliğinin olması beklenmektedir. Başka bir ifade ile toplam etkinlik ölçülmektedir. Girdi yönlü ve çıktı yönlü olarak etkinlik ölçülmektedir (Kottas and Madas, 2018).

BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli: CCR modeli sabit getiri varsayımına göre etkinliği ölçmektedir. Ancak pratikte her zaman girdideki her artış çıktıda sabit getiri ile sonuçlanmamaktadır. Bu nedenle BCC modeli 1984 yılında Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirildi. BCC model ile değişken getiri temeli üzerine etkinlik ölçümü yapılmaktadır. Hem input hem output etkinliği hesaplanabilmektedir (Özden, 2008).

DEA bir çok alanda etkinlik ölçümü için kullanılmıştır; eğitim, sağlık, sosyal hizmetler, tedarik zinciri, bankalar, üniversiteler, hastaneler vb. (Okursoy ve Tezsürücü, 2014). Havayolu sektörü de bu alanlardan biridir. Finansal etkinlik başta olmak üzere bir çok konuda havayolu sektörünün etkinliğinin ölçüldüğü bildirilebilir (Yen and Li, 2022). Havayolu sektöründe uçuş rotasının etkinliği ve havayolunun etkinliği de DEA yöntemi ile etkinlik yönünden değerlendirilmiştir (Lin, 2008; Yen and Li, 2022). Yen ve Li, rota etkinliği ile ilgili DAE çalışmalarını analiz etmek için meta-analiz yaklaşımı kullanarak bir literatür taraması yapmıştır. Bu çalışmalar mevcut faaliyetlerin havayollarında etkinliğinin DEA yöntemi ile ölçülebileceğini orta koymuştur. Deveci vd., havayollarının kaynaklarının kullanmak için yeni rota seçiminde çok kriterli karar verme yöntemini kullanmışlardır (Deveci vd., 2017). Chang vd., havayolları için yeni rota seçiminde uzlaşma programlama yöntemini kullanmışlardır (Chang vd., 2019). Bu çalışmanın amacı ise havayollarının uçmayı düşündüğü potansiyel uçuş rotaları arasından talep tahminine göre DEA yöntemi ile etkinlik ölçümü yapılarak karar vermede etken diğer faktörlerle birlikte uçuş rotasını belirlemektir.

### 3. Metodoloji

**Çalışmanın amacı:** Havayolu sektörü ICAO (International Civil Aviation Organization-2018) verilerine göre 2040 yılına kadar yaklaşık yüzde yüz'den fazla büyüyecektir. IATA ise 2035 yılına kadar havayolu sektörünün her yıl ortalama yüzde 3.7 büyüyeceğini öngörmektedir (Koech et all, 2023). Havayolu işletmelerinin faaliyetlerine devam edebilmeleri için bu büyümeden pay almaları kritik öneme sahiptir. Taşınan yolcu sayısını ve/veya kargo miktarını bir önceki döneme göre arttırmak pazardan daha fazla pay almanın yollarından biridir. Uçak ve ekip kaynağını ilave yolcu seferi ile değerlendirmek daha fazla yolcu ve/veya kargo taşımak anlamına gelmektedir. Bu noktada potansiyel uçuş rotaları arasında maksimum kar sağlanacak olanın seçilmesi kaynağın optimum değerlendirilmesinde önem arz etmektedir (Lin, 2008). Bu çalışmanın amacı havayolu sektöründe uçak kaynağının optimum fayda sağlayacak şekilde kullanılması için DAE (data envelopment analysis) yönetimi ile potansiyel uçuş rotaları arasından gelir ve gider temelinde etkin olanların seçilerek bunlar arasından uçuş saati ve transit yolcu sayısı gibi faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda sefer düzenlenecek uçuş rotasının belirlenmesi olarak ifade edilebilir.

**Çalışmanın varsayımları:** Çalışma bir havayolunun dar gövde (tek koridoru olan yolcu uçağı tipi) bir uçak tipinde kaynağı olduğu ve bu havayolu şirketinin uçak kaynağını en optimum şekilde değerlendirmek istediği varsayımıyla yürütülmüştür. Çalışma sonucunda uçak kaynağının potansiyel adaylar arasından hangi uçuş rotası için kullanılacağı belirlenmesi amaçlanmıştır.

Havayolları bir uçuş noktasına tarifelerinde sefer düzenlemek istediklerinde bazı süreçleri takip eder; pazar analizi ve rekabet analizi, transit yolcu potansiyeli, uçak mevcudiyeti. Başka bir ifade ile pazar analiz edilerek talep tahmini yapılmaktadır. Bu analiz yapılırken ilgili uçuş rotasında halihazırda uçuşu olan tüm havayollarının taşıdığı yolcu sayısı araştırılır. Tüm havayollarının verilerine ulaşmanın zorluğu nedeniyle bu çalışmada potansiyel uçuş rotalarında uçan ve Türkiye'de faaliyet gösteren tek bir havayolunun 2022 verileri kullanılmıştır. Bu havayolunun 2022 yılında taşıdığı ortalama yolcu sayıları ve kargo miktarı talep tahmini olarak varsayılmıştır. Bu havayolunun 2022 yılındaki verilerinin ortalaması alınarak potansiyel uçuş rota adayları için giderler ve gelirler belirlenmiştir. Tüm DMU'lar için belirlenen bu giderler ve gelirler etkinlik ölçümünde kullanılmıştır

**Çalışmanın methodu:** Çalışma bir havayolunun uçak kaynağını en optimum şekilde değerlendirmek için potansiyel uçuş rotaları ile ilgili pazar araştırması yaptığı varsayımı ile yürütülmüştür. Pazar araştırması yapılırken halihazırda bu rotalara seferi olan tüm havayollarının verileri araştırılır. Potansiyel uçuş rotalarına uçuşu olan tüm havayollarının talep verilerine ulaşmanın zorluğu nedeniyle Türkiye'de faaliyet gösteren tek bir havayolunun operasyon kontrol merkezinde 2022 yılı verileri ile çalışma yürütülmüş ve bu verilerin ilgili uçuş rotaları için (DMUs) talep tahmini olduğu varsayılmıştır.



Çalışmanın ilk amacı bu verileri kullanılarak DAE yöntemi ile etkinlik ölçümü yapılması olarak bildirilebilir

Araştırma iki fazdan oluşmaktadır. İlk faz üç aşamadan oluşmaktadır ve bu üç aşamada DEA yöntemi ile potansiyel uçuş rotalarının (DMUs) göreceli etkinlik ölçümü yapılacaktır. İlk aşamada aşağıdaki potansiyel uçuş rotalarının (ana base'den gidiş) göreceli etkinliği ölçülecektir.

**Tablo 1.** birinci Aşamadaki DMU'lar

DMU'lar	Uçuş Noktaları
DMU 1	IST-VIE
DMU 2	IST-MUC
DMU 3	IST-FRA
DMU 4	IST-FCO
DMU 5	IST-ZRH
DMU 6	IST-VCE
DMU 7	IST-BCN
DMU 8	IST-NCE
DMU 9	IST-LJU
DMU 10	IST-MXP

ikinci aşamada aşağıdaki potansiyel uçuş rotalarının (ana base'e dönüş) göreceli etkinlikleri ölçülmüştür;

**Tablo 2** İkinci aşamadaki DMU'lar

DMU'lar	Uçuş Noktaları
DMU 1	VIE-IST
DMU 2	MUC-IST
DMU 3	FRA-IST
DMU 4	FCO-IST
DMU 5	ZRH-IST
DMU 6	VCE-IST
DMU 7	BCN-IST
DMU 8	NCE-IST
DMU 9	LJU-IST
DMU 10	MUC-IST

Üçüncü aşamada aşağıdaki potansiyel uçuş rotalarının (gidiş-dönüş toplam) göreceli etkinlikleri ölçülmüştür.

**Tablo 3.** Üçüncü Aşamadaki DMU'lar

DMU'lar	Uçuş Noktaları
DMU 1	IST-VIE-IST
DMU 2	IST-MUC-IST
DMU 3	IST-FRA-IST
DMU 4	IST-FCO-IST
DMU 5	IST-ZRH-IST
DMU 6	IST-VCE-IST
DMU 7	IST-BCN-IST
DMU 8	IST-NCE-IST
DMU 9	IST-LJU-IST
DMU 10	IST-MUC-IST

DEA çoklu girdi ve çoklu çıktıya göre etkinlik ölçen bir yöntemdir. DEA analizi için bir uçuşdan elde edilen çıktılar ve bu çıktıları elde etmek için kullanılacak girdiler Tablo 4'de gösterilmiştir.

İkinci fazda ise 1. fazda etkin olarak ölçülen uçuş rotalarının toplam uçuş saati ve transit yolcu tahminleri verileri değerlendirilerek sefer düzenlenecek uçuş rotasına karar verilmiştir.

DEA çalışmalarında değişkenler inputlar ve outputlar olarak belirtilebilmektedir. Havayolu işletmeleri için uçuş rotası seçiminde input maliyetlerdir, output ise elde edilen gelirlerdir. Çalışmada input olarak Tablo 4'te gösterilen maliyetler ve gelirler değişkenler olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada mevcut uçak kaynağını değerlendirmek için potansiyel uçuş rotaları arasından optimum gelir getirini seçmek için DEA modellerinden BBC MAX yönetimi kullanılacaktır. Elde edilecek gelir değişken getiri getirdiğinden ve uçağın kapasitesi ile sınırlı olduğundan değişken getiri sağlayan BBC modeli kullanılmıştır. Gelirin maximizasyonu amaçlandığından BBC MAX yöntemi ile teknik etkinlik ölçümü yapılacaktır.

**Veri toplama methodu:** Bu çalışma Türkiye'de faaliyet gösteren bir havayolunun operasyon kontrol merkezinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma iki fazdan oluşmaktadır. İlk faz üç aşamadan oluşmaktadır. İlk faz için uçuş noktaları (DMUs) rastgele havayolunun mevcut uçuş rotalarından seçilmiştir. Bu çalışmanın değişkenleri havayollarının ürünü ya da hizmeti olan uçuş sürecinin çıktıları ve girdileridir. Veriler Türkiye'de faaliyet gösteren bir havayolunun 2022 yılına aittir. Bu uçuş rotalarının (DMU) Tablo 4'te belirtilen çıktıları ve girdileri bu havayolunun 2022 yılı veri deposundan alınmıştır. Daha sonra ilk fazın ilk iki aşamasında kullanma üzere bu değerlerden potansiye uçuş rotaları için ortalama olarak Tablo 4'te belirtilen çıktıları ve girdileri hesaplanarak DAE yöntemi ile etkinlik ölçümü yapılmıştır. Daha sonra üçüncü aşamada ilk iki aşamada kullanılan veriler toplanarak toplam uçuşun etkinliği DEA yöntemi ile belirlenmiştir. İkinci fazda havayolunun 2022 yılı verilerinden, ilk aşamada etkin çıkan uçuş rotası arasında yer alan DMU'ların ortalama uçuş saati ve ortalama transit yolcu sayıları belirlenerek sefer düzenlenebilecek uçuş rotası seçiminde kullanılmıştır.

#### 4. Bulgular

Bu çalışma iki fazdan oluşmaktadır. Birinci fazda ilgili uçuş rotalarının talep tahminleri doğrultusunda girdilerinin ve çıktılarının DEA yöntemi ile etkinliği ölçülecektir. Daha sonra ikinci fazda DEA analizi sonucu etkin olan uçuş rotaları ortalama uçuş saati ve transit yolcu sayısına göre değerlendirilerek uçulacak rotaya karar verilecektir.

#### 4.1. Faz 1

İlk faz üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Tablo 1'deki DMU'ların, ikinci aşamada Tablo 2'deki DMU'ların, 3. Aşamada ise Tablo 3'deki DMU'ların DEA yöntemiyle göreceli etkinlikleri ölçülmüştür. DEA çoklu girdilerin ve çıktılarının göreceli etkinliğini ölçmektedir. Bu çalışmada bir uçuşun girdi ve çıktı değerleri için Türkiye'de Faaliyet gösteren bir havayolunun 2022 verileri kullanılmıştır. Başka bir ifade ile bu veriler ilgili uçuş noktaları için talep tahmini olarak varsayılmıştır. Uçuş hizmeti için girdi ve çıktı verileri bu havayolunun 2022 yılı verilerine göre Tablo 4'de gösterilmiştir (Akbaba, 2022; Qin, 2018).

**Tablo 4.** Uçuş Maliyetleri ve Gelirleri

GİDERLER	GELİRLER
<p><b>1. SABİT GİDERLER:</b> Yönetim harcamaları gibi uçuş Operasyon sayısına göre değişmeyen, sabit kalan maliyetlerdir.</p>	<p><b>1. Yolcu Gelirleri:</b> Talep tahmini sonucu bilet satışından elde edilmesi beklenen gelir</p>
<p><b>2. SEFERE ÖZGÜ DOLAYLI GİDERLER:</b> Uçuş Operasyon sayısı arttıkça artan maliyetlerdir.</p>	<p><b>2. Kargo gelirleri:</b> Talep tahmini sonucu kargo satışından beklenen gelir</p>
<p><b>3. DEĞİŞKEN GİDELER</b></p>	
<p>3.1 Yakıt maliyetleri; Bir uçuşun gerçekleşmesi için ulusal ve uluslararası mevzuata göre uçağa yüklenen yakıt miktarının maliyeti</p>	
<p>3.2 Üst geçiş maliyetleri; uçuşun üzerinden geçtiği ülkelere ödenen ücret</p>	
<p>3.3 Uçuş Ekibi Maliyetleri; uçuş ekibinin harcırah gibi değişken maliyet kısmına giren giderleri</p>	
<p>3.4 İkram ve kabin içi eğlence maliyetleri; yolcuya uçuş sırasında verilen ikramın ve uçuşun daha keyifli geçmesi için yolcuya sunulan hizmetlerin maliyeti.</p>	
<p>3.5 Handling maliyetleri: uçağa ve yolcuya yerde verilen hizmet için alınan ücretler</p>	
<p>3.6 Bakım giderleri; sefer öncesi yapılan controller gibi bakım maliyetlerinin değişken olan bölümü</p>	
<p>3.7 Terminal ve iniş maliyetleri; uçağın ve yolcunun havaalanını ve terminali kullanmasından kaynaklanan ücret</p>	
<p>3.8 Diğer değişken maliyetler: yukarıdaki kalemler dışında kalan değişken maliyetler.</p>	

Yukarıdaki maliyet kalemleri ve gelirler ortalama bir uçuş için hesaplanarak aşağıdaki DMU'ların DEA yöntemi ile etkinlikleri ölçülmüş ve Tablu 5, ve 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Birinci Aşamada DMU'ların etkinlik ölçüm sonuçları

DMU'lar	Uçuş Noktaları	Sonuç
DMU 1	IST-VIE	0,99407317
DMU 2	IST-MUC	0,878776508
DMU 3	IST-FRA	0,882940507
DMU 4	IST-FCO	1
DMU 5	IST-ZRH	0,915923975
DMU 6	IST-VCE	0,901068954
DMU 7	IST-BCN	0,956217249
DMU 8	IST-NCE	1
DMU 9	IST-LJU	1
DMU 10	IST-MXP	0,934793324

Tablo 5 seferlerin ilk bacaklarının etkinlik sonuçlarını göstermektedir. Her bacağın analizinin yapılmasındaki amaç DEA yönteminin havayoluna etkin olmayan DMU'lar ile ilgili analiz yapma imkanı sunmasıdır. Seferin her aşamasında havayolu analiz yaparak etkin olmayan DMU'lar için veriye sahip olabilecektir. Çalışma sonucunda 1. Aşamada etkinliklerin farklı çıkmasının nedeni olarak beklenen taleplerdeki farklılıklar olduğu sonucuna varılabilmektedir. Maliyet kalemlerinde DMU'lar arasında büyük farklılıklar görülmemiştir.

**Tablo 6.** Birinci aşamada DMU'ların etkinlik ölçüm sonuçları

DMU'lar	Uçuş Noktaları	Sonuç
DMU 1	VIE-IST	1
DMU 2	MUC-IST	0,835696509
DMU 3	FRA-IST	1
DMU 4	FCO-IST	1
DMU 5	ZRH-IST	1
DMU 6	VCE-IST	1
DMU 7	BCN-IST	1
DMU 8	NCE-IST	1
DMU 9	LJU-IST	0,856201484
DMU 10	MUC-IST	0,980216

Tablo 6 seferlerin ikinci bacaklarının etkinlik sonuçlarını göstermektedir. Yapılan analiz sonucunda 2. Aşamada da etkinliğin farklı çıkmasının nedeninin beklenen talep olduğu belirtilebilmektedir.

**Tablo 7.** Toplam uçuşların etkinlik değerleri

DMU'lar	Uçuş Noktaları	Sonuç
DMU 1	IST-VIE-IST	1
DMU 2	IST-MUC-IST	0,798601839
DMU 3	IST-FRA-IST	0,979143976
DMU 4	IST-FCO-IST	1
DMU 5	IST-ZRH-IST	0,904863568
DMU 6	IST-VCE-IST	1
DMU 7	IST-BCN-IST	1
DMU 8	IST-NCE-IST	1
DMU 9	IST-LJU-IST	1
DMU 10	IST-MUC-IST	0920387967

Tablo 7 seferin iki bacağına verilerinin toplamının etkinliğini göstermektedir. Tablo 7’de çıkan sonuçlar DEA yönteminin tek başına rota seçiminde yeterli olmadığını fakat bazı rotaların karar sürecinden çıkarılmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada DMU 2, 3, 5, 10 DEA yöntemi sonucunda karar sürecinden çıkarılmıştır. Bu nedenle DAE yöntemi ile uçuş rotası etkinliği ölçüldüğünde diğer faktörlerin değerlendirilerek karar verilmesinin optimizasyon açısından kritik öneme sahip olduğu bildirilebilir. İkinci fazda DMU’ların uçuş saati ve transit yolcu sayıları değerlendirilmiştir.

#### 4.2. İkinci Faz

İlk fazda belirlenen etkin uçuş rotaları arasından 2. Fazda en etkin olanı seçmek amacıyla uçuş saatleri ve transit yolcu sayıları belirlenmiştir. Bir uçuş rotası kararını etkileyen bunların dışında faktörler de mevcuttur; uçak kaynağı ile havaalanı operasyon uyumluluğu, handling imkanları, müsaade ve slot temin edebilme imkanları gibi. Çalışma sanal bir havayolu için yapıldığından bu faktörler veri haline dönüştürülemez. Bu sebeple çalışmaya bu faktörler dahil edilmemiştir.

Uçuş süresinin az olması havayolu işletmeleri açısından eşit gelir etkinliği durumunda daha avantajlıdır. Uçak kaynağını diğer uçuşlar için kullanmak ek gelir getirecektir. Transit yolcu sayısı ise havayolları için bir uçuştan elde edilen dolaylı gelir anlamına gelmektedir. Dolayısı ile transit yolcu sayısının fazla olması havayolu açısından daha avantajlıdır. Aşağıda bu veriler yer almaktadır.

**Tablo 8.** Etkin DMU’ların uçuş süreleri ve transit yolcu sayıları

	Toplam Uçuş Süresi	Transit Yolcu Sayısı
DMU 1	04:40	52
DMU 4	05:10	69
DMU 6	04:55	84
DMU 7	07:10	92
DMU 8	06:05	64
DMU 9	04:30	58

DMU 6, DMU 9’dan 25 dakika daha fazla uçuş süresine sahip olmasına rağmen 26 ilave transit yolcu geliri öngörüsüne sahip. Bu ilave gelir nedeniyle DMU 9’dan daha etkin bir rota olduğu bildirilebilir.

DMU 6, Dmu 7'den 8 transit yolcu geliri eksik öngörülmesine rağmen ortalama 02:35 saat daha az uçuş süresi ile icra edilmektedir. Dolayısı ile uçak kaynağının ilave seferde kullanılması daha fazla gelir anlamına geldiğinden havayolu için DMU 6 daha etkin bir rota olabilir. Bu veriler DMU 6'nın optimum sefer düzenlenecek DMU olduğunu bildirmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Havayollarının kaynaklarını optimum kullanmaları rekabet avantajı sağlamaktadır. Mevcut uçuş rotalarının etkinliğini belirlemek amacıyla literatürde DAE yöntemi ile çalışmalar mevcuttur. Yen ve lie, 112 uçuş rotasının etkinliğini DEA yöntemi ile ölçmüşler ve belirli bir uçuş rotası için etkinliğin geliştirmesinde kilit rol oynayan faktörlerin DEA yöntemi ile tespit edilebildiğini bildirmişlerdir (Lin, 2008; Yen and Li, 2022). Dorta vd., DEA yöntemi ile havayolu etkinliğini ölçmüştür ve sürdürülebilir büyüme için DAE yöntemi ile geliştirilmesi gereken yönlerin ortaya çıkarılabileceğini belirtmişlerdir (Dorta vd, 2024). Heydari vd., İran havayollarının etkinliğini DEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir; ve etkinlik değerlerini belirleyebilmiştir (Heydari vd., 2020). Ganji vd., İran havayollarının tarife etkinliğini DEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir ve DEA yöntemi ile tarife ağ etkinliğinin uygulanabilirliği sonucuna ulaşmışlar (Ganji vd., 2024). Tseng vd., Taiwan Havayollarının rota performansını DEA yöntemi ile değerlendirmişlerdir; DAE yönteminin etkinliği belirlediği gibi etkin olmayan rotaların geliştirilmesi için kriterleri de belirlediğini bildirmişlerdir (Tseng vd., 2024).

Bu çalışmanın amacı havayollarının uçak ve ekip kaynaklarının kullanacakları yeni rota seçiminde DEA yönteminin kullanılarak diğer faktörlerle birlikte tarifeye eklenecek yeni uçuş rotasını veya rotalarının belirleyecek bir model ortaya koymaktır. Çalışma sonunda DEA yönteminin etkin olan uçuş rotalarını belirleyerek potansiyel uçuş rotaları arasında eleme yapılabilmesinde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. En etkin rotanın belirlenmesi için DAE yöntemi ile etkin olmayan uçuş rotaları elenerek uçuş ile ilgili diğer faktörlerin de değerlendirilmesi sürecine katkı sağlanabileceği bildirilmiştir. DEA yöntemi ile uçuş saati ve transit yolcu talebi, müsaade ve/veya slot temin edebilme kolaylığı, uçak performansı ile havaalanı kolaylıklarının uyumluluğu gibi faktörler gözönünde bulundurularak yeni rota seçiminde karar verilebilir. Başka bir ifade ile bu çalışma yeni rota seçiminde DEA yönteminin kullanıldığı bir model ortaya koymaktadır.

### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Tek Yazarlı çalışmadır.

### 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

**Akbaba, A.** (2022). Düzensiz Operasyonların Havayolu Ücret Politikalarına ve Gelir Yönetimine Etkisiüzerine Modelleme. İşletme Araştırmaları Dergisi, 14(4), 2833–2847.

**Angelos T. Kottas and Michael A. Madas.** (2018). Comparative Efficiency Analysis of Major International Airlines Using Data Envelopment Analysis: Exploring Effects of Alliance Membership and Other Operational Efficiency Determinants, *Journal of Air Transport Management*, 70, P.1-17.

**Augusto Voltes-Dorta, Rodrigo Britto, Bradley Wilson,** (2019). Efficiency of global airlines incorporating sustainability objectives: A Malmquist-DEA approach, *Journal of Air Transport Management*, 119, 102634.

**Barbara T.H. Yen and Jun-Sheng Li.** (2022). Route-based performance evaluation for airlines – A metafrontier data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 162, 102748.

**Chiman Heydari, Hashem Omrani, Rahim Taghizadeh,** (2020). A fully fuzzy network DEA-Range Adjusted Measure model for evaluating airlines efficiency: A case of Iran. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101923.

**Considerations Airlines Must Make When Planning New Routes** (Sabre). Erişim Tarihi: 26.05.2024, <https://www.sabre.com/insights/4-considerations-airlines-must-make-when-planning-new-routes/> .

**Erwin T.J. Lin.** (2008). Route-based performance evaluation of Taiwanese domestic airlines using data envelopment analysis: A comment. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (5), P. 894-899,

**Flight Operations Risk Assessment Checklist - New Destination** (SKYbrary). Erişim Tarihi: 25.06.2024, <https://skybrary.aero/articles/flight-operations-risk-assessment-checklist-new-destination> .

**Flight Operations Risk Assessment Checklist - New Destination** (Aviation for Aviators). Erişim Tarihi: 28.05.2024, <https://aviationforaviators.com/2021/03/23/which-planes-are-used-for-short-medium-and-long-haul-flights/> .

**Hokey Min and Seong-Jong Joo.** (2016). A Comparative Performance Analysis of Airline Strategic Alliances Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Air Transport Management*, 52, P.99-110.

**How Do Airlines Plan New Routes?** (Simple Flying). Erişim Tarihi: 23.06.2024, <https://simpleflying.com/how-airlines-plan-new-routes>.

**How Airlines Launch New Routes** (Airways). Erişim Tarihi: 25.05.2024, <https://airwaysmag.com/how-airlines-launch-new-routes/> .

**Madhavan, M., Ali Sharafuddin, M., Piboonrungrøj, P., & Yang, C.-C.** (2023). Short-term Forecasting for Airline Industry: The Case of Indian Air Passenger and Air Cargo. *Global Business Review*, 24(6), 1145-1179.

**M. Deveci, N.Ç Demirel and E. Ahmetoğlu.** (2017). Airline new route selection based on interval type-2 fuzzy MCDM: A case study of new route between Turkey- North American region destinations. *Journal of Air Transport Management*, 59, 83-99.

**Okursoy ve Tezsürücü.** (2014). Veri Zarflama Analizi ile Görelî Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye'deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama, *European Journal of Operational Research*, 21(2), P.1-18.

**Özden, Ü., H.** (2008) Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye'deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 37 (2), P, 167-185.

**Özçelik H. ve Kandemir B..** (2017). Veri Zarflama Analizi Ve İmalat Sektöründe Bir Uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22 (1), P.43-53.

**How Do Airlines Plan New Routes?** (AN Aviation Service). Erişim Tarihi: 23.05.2024, <https://an.aero/how-airlines-plan-for-new-route/> .

**The Practice of Airport And Airline Route Development** (International Airport Review). Erişim Tarihi: 26.06.2024, <https://www.internationalairportreview.com/article/111407/route-development-risks-limitations-flaws-results/> .

**Qin, Peng.** (2018). The Revenue and Cost of the Airline Company, *Research in Economics and Management*, 3 (2) P.134-138.

**S.S. Ganji, Abbas Mardani, Rasul Jahed,** (2024). Assessment of Iranian airlines using network cross-efficiency DEA and the regret theory. *Case Studies on Transport Policy*, 18, 101266.

**Ulrich Gunter and Bozana Zekan.** (2021). Forecasting Air Passenger Numbers with a GVAR model. *Annals of Tourism Research*, 89, 103252.

**Unal Y, Z., Sevкли, M., Uysal, O., Turkyilmaz, A.** (2021). A New Approach to Fleet Assignment and Aircraft Routing Problems. *Transportation Research Procedia*, 59, P. 67-75.

**Wen-Chun Tseng, Xin Wang, Yu-Cheng Ting,** (2024). Evaluating air route performance with context-dependent data envelopment analysis: A case study in Taiwan. *Asian Transport Studies*, 10, 100148.

**Wenliang M., Wang, Q., Yang, H., Zhang, Y. (2019).** An Analysis of Price Competition and Price Wars in Australia's Domestic Airline Market. *Transport Policy*, 81. P. 163-172.

**Yu-Chun Chang, Wei-Hao Lee, Chi-Hung Wu. (2019).** Airline new route selection using compromise programming - The case of Taiwan-Europe. *Journal of Air Transport Management*, 76, 10-20,