



**BANDIRMA
ONYEDİ EYLÜL
ÜNİVERSİTESİ**



JITSA | Journal of Intelligent Transportation Systems and Applications

Cilt / Volume: 5

Sayı / Issue: 2

Yıl / Year: 2022



Sahibi

Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Dergi Yürütücüsü Editör

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

Editörler

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
Prof. Dr. Hediye Tülay YAMAN
Doç. Dr. Nevzat ONAT
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK
Öğr. Üyesi Muhammed ARUÇU

Ahah Editörleri

Prof. Dr. Serap İNCAZ
Prof. Dr. Yasim ARSLANOĞLU
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU
Doç. Dr. Nicola TEKTAŞ
Doç. Dr. İlgün GÖKASAR
Doç. Dr. Abdullah YESİL
Doç. Dr. Adem DALÇALI
Doç. Dr. Harun ÖZBAY
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK
Doç. Öğr. Üyesi Feyhan ENGİN
Doç. Öğr. Üyesi Cemil KÖZKURT
Doç. Öğr. Üyesi Özgür ATIK
Doç. Öğr. Üyesi Hasan SAHİN
Doç. Öğr. Üyesi İlyas ÖZER
Doç. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU
Öğr. Gör. Abdullah ELEN
Öğr. Gör. Ömer İNAN

Yayın ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Süleyman ÖZDEMİR (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Alpaslan SEREL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. Feyyazhan TEMURTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Prof. Dr. A. Fevzi BABA (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Abdülhamit HASILOĞLU (Atatürk Üniversitesi)
Prof. Dr. Erdiğün KÖSE (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Ergin Sarı VAROL (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Firat KACAR (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet TEKİN (Gaziosmanpaşa Üniversitesi)
Prof. Dr. Hasan ERDAL (Marmara Üniversitesi)
Prof. Dr. Mehmet BEKDEMİR (Erzincan Üniversitesi)
Prof. Dr. Orhan Bekir ALANKIŞ (Oran Üniversitesi)
Prof. Dr. Rafe BOZDOĞAN (Yalova Üniversitesi)
Prof. Dr. Serap İNCAZ (Niğantaş Üniversitesi)
Prof. Dr. Serpil KILIÇ (Arslanhan Üniversitesi)
Prof. Dr. Bülent AKINOĞLU (ODTÜ) (Türkiye)
Prof. Dr. Mustafa HILICALI (İstanbul Ticaret Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Serdal YERLİ (Süleyman Demirel Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)
Prof. Dr. Hediye TÜYDEŞ YAMAN (ODTÜ)
Doç. Dr. Ersoy ÖZ (Yıldırım Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Mijdat SOYTURK (Marmara Üniversitesi)
Doç. Dr. Nevzat ONAT (Mansur Celal Bayar Üniversitesi)
Doç. Dr. Turan ARSLAN (Bursa Uludağ Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Abdullah YESİL (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Galileo BASMACI (Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. İlgün GÖKASAR (Bogazici Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Meseret NALÇAKAN (Eskişehir Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ) (Türkiye)
Doç. Dr. Nicola TEKTAŞ (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Ufuk ÇELİK (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Metin Meriç AYDIN (Ondokuz Mayıs Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Dr. Adem DALÇALI (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Assoc. Prof. Dr. Viktor HACKER (Graz University of Technology) (Avusturya)
Doç. Öğr. Üyesi Aslan COBAN (Sakarya Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Emre DEMİR (Antalya Bilim Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Erhan CİLOĞLU (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Fatih YONAR (Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Gülten KARA (Karadeniz Teknik Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi İbrahim AKBEN (Hassan Kalyoncu Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Mithat Simşek (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Muhammed ARUÇU (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Murat AY (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Mürat Eray KORKMAZ (Samsun Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Mürat AY (Yozgat Bozok Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Özgür ATIK (Dokuz Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Onursal CETİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Salihattin KOŞUNALP (Bayburt Üniversitesi)
Doç. Öğr. Üyesi Selçuk ATİŞ (Marmara Üniversitesi)
Doç. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY (Sağlık Bilimleri Üniversitesi)
Doç. Öğr. Üyesi Şenel DİLER (Kahramanmaraş Sırtçınan Üniversitesi) (Türkiye)
Doç. Öğr. Üyesi Yasim SARIKAVAK (Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
Doç. Öğr. Üyesi Taylan ENGİN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Doç. Öğr. Üyesi Uğur AKAR (Bandırma Onyedi Eylül Üni.)
Arş. Gör. Dr. Umur AYDIN (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)
Öğr. Gör. Dr. Cemil OCAK (Gazi Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Lee Young Kyun (Director of ITS Korea) (Kore)
Dr. Evangelos Mitsakis (Hellenic Institute of Transport) (Yunanistan)
Dr. Ziya ÇAKIRCI (Bayburt Üniversitesi) (Türkiye)
Dr. Ahmet BAĞIŞ (İETT)
Dr. A. Oğuz TURKOĞLU (İETT)
Dr. Kadir KORKMAZ (TUBİTAK-BİLGEM)
Ummat Hasan TURAN (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (Türkiye)
Aussder Bşk. Erol YANAR (AUSDER) (Türkiye)
Öğr. Gör. İhsan AKTAŞ (Erkelerci Üniversitesi) (Türkiye)
Öğr. Gör. Tufan Volkan KÜÇÜK (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi) (Türkiye)
Öğr. Gör. Yusuf AVŞAR (Trakya Üniversitesi) (Türkiye)

Teknik Editör

Arş. Gör. Camer PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

Dergi Sekreteryası

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

Mizanaç

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

Ön Kontrol

Arş. Gör. Camer PENSE (Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi)

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

Web: <http://dergipark.gov.tr/jitsa>

Telefon: +90 266 717 01 17

Fax: +90 266 717 00 30

E-posta: jitsa@bandirma.edu.tr

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

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

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

İÇİNDEKİLER / CONTENT**Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) üzerine Türkiye'deki politikaların araştırılması**1-14

Exploration of policies in Turkey on intelligent transportation systems (ITS)

Rukiye Gizem Öztaş Karlı, Selma Çelikyay

Araştırma makalesi

Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sistem kullanımının değerlendirilmesi15-32

Evaluation of light guiding system usage in green wave applications

Halil Kara, Gürcan Sarısoy, Yavuz Delice

Araştırma makalesi

Aviation-caused CO2 emissions reduction efficiency in EU-28 under CORSIA compliance33-52

CORSIA uyumluluğu kapsamında AB-28'de havacılık kaynaklı CO2 emisyonlarını azaltma verimliliği

Gizem Kaya, Mehmet Özgür Kayalica

Araştırma makalesi

Akıllı otopark sistemlerinde kullanılan araç tanıma teknolojileri üzerine bir inceleme53-72

An Investigation on vehicle detection technologies used in smart parking systems

Bora Doğaroğlu, S. Pelin Çalışkanelli

Araştırma makalesi

ISO 37120 standardı ulaşım göstergelerinin kanonik korelasyon analizi ile incelenmesi73-80

Examination of ISO 37120 standard transportation indicators by canonical correlation analysis

Emrah Akdamar

Araştırma makalesi

Prediction of highway pavement surface condition based on meteorological parameters using Deep Learning Method81-88

Derin Öğrenme Yöntemi kullanılarak meteorolojik parametrelere dayalı karayolu kaplama yüzey durumunun tahmini

Tahsin Baykal, Fatih Ergezer, Serdal Terzi

Araştırma makalesi

A stochastic sequence planning model for the runways with multiple exits89-101

Çoklu terk ediş noktası bulunan pistler için stokastik sıralama planlama modeli

Kadir Dönmez

Araştırma Makalesi

Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile çatma kusur oranlarının belirlenmesi102-116

Determining the collision apportionment of fault by using Multi-Criteria Decision Making Approach

Oğuzhan Gürel, Yunus Emre Şenol, Serdar Kum

Araştırma Makalesi

Examination of maritime education within frame of gamification117-132

Denizcilik eğitiminin oyunlaştırma çerçevesinde incelenmesi

Gizem Kayisoglu, Pelin Bolat, Fırat Bolat, Aras Payalan

Araştırma makalesi

Şehir içi otobüs taşımacılığında kısa dönemli yolcu sayısı tahmini133-145

Short term passenger flow forecasting in urban bus transportation system with LSTM network

Ece Sema Korkmaz, İlyas Özer, Serhat Berat Efe

Araştırma makalesi

Ülkelerin lojistik performanslarının Entropi tabanlı TOPSIS yöntemine göre sıralanması146-156

Ranking of the logistic performances of the countries according to the Entropy-based TOPSIS method and variable selection

Maruf Gögebakan

Araştırma makalesi

Trafik simülasyon yazılımlarına genel bakış157-168

Traffic simulation software overview

Sinem Akkaya, Taylan Engin

Araştırma makalesi

İnsansız hava araçlarının (İHA) taşımacılıkta kullanımına yönelik keşfedici bir araştırma: drone taşımacılığı ve uygulamaları169-187

An exploratory study on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in transportation: drone transportation and its applications

Muhammed Turğut, Bilal Şeker

Araştırma makalesi

Security Control Process Modeling During the Covid-19 Pandemic: Example Of Esenboğa Airport188-199

Covid-19 Pandemisi Sırasında Güvenlik Kontrol Süreci: Esenboğa Havalimani Örneği

M Emre Karsigil, Savas Selahattin Ates

Araştırma makalesi

Otonom araçların akıllı ulaşım politikaları üzerindeki etkileri200-210

The effects of autonomous vehicles on intelligent transportation policies

Sinem Akkaya, Harun Özbay

Araştırma makalesi

Şehir geçişi hizmet sınıfındaki yollarda yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne bir öneri: Samsun örneği211-226

A suggestion to solve the problems arising from side road participation in roads in the city crossing service class: the example of Samsun

Melis Dönmez Akın, Ufuk Kırbaş, Emre Akın

Araştırma makalesi

Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının BWM ve SWARA yöntemleri ile belirlenmesi227-238

Determining the weights of the factors affecting traffic accidents by BWM and SWARA methods

Mesut Ulu, Yusuf Sait Türkan, Kenan Mengüç

Araştırma makalesi

Araştırma Makalesi

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) üzerine Türkiye'deki politikaların araştırılması

Rukiye Gizem Öztaş Karlı^{1*}, Selma Çelikyay¹

¹ Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye

*Correspondence: roztas@bartin.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1090659

Özet: Dünya genelinde kentler rekabet edilebilirliğini artırmak ve sürdürülebilir kentsel ulaşım sistemleri oluşturabilmek için AUS'ye yönelik planlar ve projeler oluşturmakta, girişimlerde bulunmaktadır. Türkiye'nin de bu yarışa dahil olabilmesi için AUS'ye yönelik çalışmaların hız kazanması, plan, politika ve stratejilerin oluşturulması ve oluşturulan stratejiler çerçevesinde çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ancak Türkiye'deki AUS'nin mevcut durumunu ortaya koyabilmek için geçmişten günümüze Türkiye'de oluşturulan politikaların incelenmesine ve gelişim sürecinin ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, günümüze kadar Türkiye'de oluşturulmuş politika metinlerinde AUS'nin gelişimini ortaya koymaktır. Politikalar, dokümantasyon analizi ile irdelenmiştir. Bulgular, Türkiye'de 2000'li yıllardan itibaren oluşturulan plan, politika ve strateji belgelerinde akıllı ulaşım sistemlerine altlık oluşturacak bazı hedeflerin geliştirildiğini ancak AUS'ye yönelik oluşturulan ilk planın 2014 yılında hazırlandığını ortaya koymaktadır. Son olarak bu çalışma ile Türkiye'nin AUS konusundaki mevcut durumu ortaya konularak politika yapıcılara ve ilgili tüm aktörlere faydalı olması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, AUS, Türkiye

Exploration of policies in Turkey on intelligent transportation systems (ITS)

Abstract: Cities throughout the world constitute plans and projects and developed ITS initiatives to increase their competitiveness and create sustainable urban transportation systems. It is necessary to accelerate the applications on ITS, develop plans, policies, and strategies, and is worked within these strategies to be placed Turkey in this competition. On the other hand, to display the current ITS state in Turkey, it is essential to examine the policies designed in Turkey from past to present and demonstrate the development process. In line with this, the study aims to reveal the ITS development in the policy documents designed in Turkey. Policies were analyzed by document analysis. The findings show that some objectives that will form a basis for intelligent transportation systems have been developed in Turkey's plans, policy, and strategy documents created since the 2000s. Still, the first ITS plan was prepared in 2014. Finally, this study contributes to policymakers and all relevant actors by eliciting the current situation of Turkey on ITS.

Keywords: Intelligent transportation systems, ITS, Turkey

* Corresponding author.

E-mail address: roztas@bartin.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0999-418X

Received 20.03.2022; accepted 16.07.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Ulaşım, insan faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde kilit bir aktör olup aynı zamanda hem ekonomik hem de sosyal kalkımda önemli rol oynamaktadır. Özellikle son birkaç on yılda yaşanan gelişmeler karayolu ulaşım sisteminin ölçeğini de genişletmiştir. Ulaşım talebinin artması, karayolu sisteminin yüksek kalitede seyahat hizmetleri sunmasını daha da zor hale getirmektedir. Ayrıca nüfus ve kentleşmenin etkisiyle araç sayısı artmakta, karayolu sistemleri doygunluk seviyesine ulaşmaktadır. Zamanla daha fazla sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan bazıları trafik sıkışıklığı gibi eski sorunlar olurken bazıları da olumsuz çevresel etki gibi yeni bir sorundur. Günümüzde kentlerin yaşadığı genel sorunlar arasında ise; emisyonlar, gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı, trafik kazaları ve yanlış arazi kullanımı gelmektedir (Tablo 1) (Levinson vd., 1998, Rodrigue vd., 2013, Spellerberg, 1998, Santos vd., 2010). Günümüzde bu sorunların çözümünde akıllı ulaşım sistemleri kullanılmaktadır.

Ancak bu sorunlara çözümün yanında uzun vadede, ulaşım sisteminin geleceğini düşünmek için iki önemli motivasyon daha vardır. Bunlar, ulaşım sisteminin verimliliğiyle yakından bağlantılı olan “ulusal üretkenlik” ve “uluslararası rekabet edebilirlik” (Sussman, 2005a). Bu iki motivasyon ilgili kurum ve kuruluşların ulaşım sistemi bakış açılarını değiştirmeye katkı sunmaktadır. Sussman (2005a)’a göre, geleneksel ulaşım altyapısı üzerindeki kısıtlamalardan ve gerekliliğinden dolayı AUS’deki vurgu operasyonlar üzerinedir. Bu düşünce bireylerin “sadece geleneksel altyapıya vurgu yapmak değil, operasyonları vurgulamak” ve “yalnızca mobiliteye odaklanmak yerine hem mobiliteye hem de sürdürülebilir ulaşım odaklanmak” bakış açılarını sahip olmalarına katkı sunmaktadır. Operasyonlara odaklanma, bir dizi yeni teknoloji, özellikle de Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) tarafından sağlanmaktadır (Sussman, 2005b). Ayrıca bu düşünce hem hareketliliğe hem de sürdürülebilir ulaşım katkı sağlamaktadır.

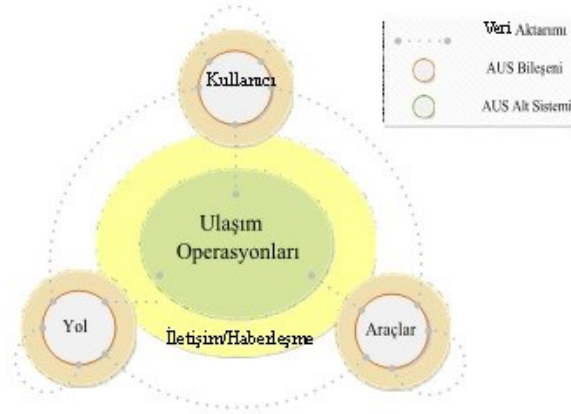
Tablo 1. Ulaşımın olumsuz dışsallıkları (Orijinal)



2. Akıllı ulaşım sistemleri (AUS)

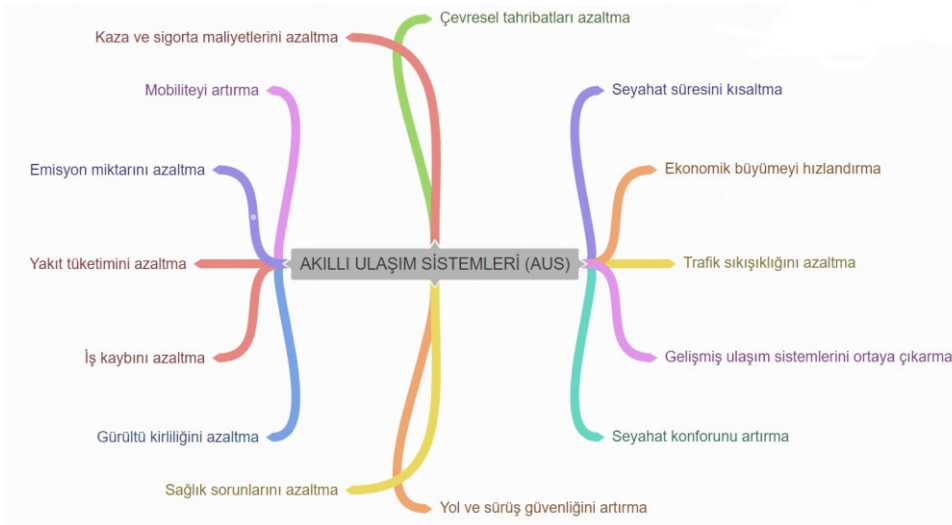
Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS), farklı ulaşım yönetimi modlarıyla ilgili yenilikçi hizmetler sunmayı amaçlayan kapsamlı bir ulaşım yönetimi ve hizmet sistemidir (Lin, vd., 2017). Tektaş vd. (2016) ise AUS’yi, “seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin artırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkısı ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile, izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemlerdir” şeklinde tanımlamaktadır. AUS’nin en temel özelliği; bilgi sistemleri, iletişim, sensörler, kontrolörler ve ileri

matematiksel yöntemlerdeki yüksek teknoloji ve gelişmeleri, geleneksel ulaşım altyapısı dünyası ile birleştirmesidir (Sussman, 2005a). Bu teknolojiler, ulaşım sisteminin altyapısına ve araçların kendilerine entegre edildiğinde trafik sıkışıklığını gidermekte, güvenliği ve üretkenliği artırmaktadır (Yan vd., 2012).



Şekil 1. AUS'de arabağlantı ve operasyon (Lin vd., 2017)

AUS'nin hedefleri arasında hareketlilik, sürdürülebilir ulaşım ve kolaylık yer almaktadır. Hareketlilik, ulaşım sisteminin verimliliğini ve kapasitesini vurgulamaktadır. Sürdürülebilir ulaşım, trafik güvenliğine ve çevre dostu kalkınmaya odaklanmaktadır. Kolaylık ise bireylere erişilebilir hizmet sağlamayı amaçlamaktadır. Arabağlantı ve operasyon ise AUS'nin iki önemli sembolüdür (Şekil 1). Arabağlantı, izole unsurlar yerine ulaşım sistemindeki tüm ilgili unsurların (yani, araçlar, yollar ve insanlar) birbirine bağlanmasına izin vermektedir. Bu durum ulaşım yönetimine yeni bir bakış açısı kazandırarak, minimum kaynaklarla hedeflere ulaşılmasını sağlamaktadır. Özetle AUS, ulaşım güvenliğini ve mobilitayı iyileştirmekte, konforu ve esnekliği artırmakta, olumsuz çevresel etkiyi azaltmakta, enerji tasarrufu sağlamakta, seyahat süresini kısaltmakta, sürdürülebilir ulaşımı teşvik etmekte ve bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT) ulaşım sistemlerine entegrasyonu ile üretkenliği artırmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. AUS'nin faydaları (Orijinal)

Dünya genelinde kentler rekabet edilebilirliğini artırmak ve sürdürülebilir kentsel ulaşım sistemleri oluşturabilmek için AUS'ye yönelik planlar ve projeler oluşturmada, çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Bu noktada Türkiye'nin de bu yarışa dahil olabilmesi için AUS'ye yönelik çalışmaların hız kazanması, plan, politika ve stratejilerin oluşturulması ve oluşturulan stratejiler çerçevesinde

çalışmaların yapılması gerekmektedir. Öte yandan Türkiye’deki AUS’nin mevcut durumunu ortaya koyabilmek için geçmişten günümüze Türkiye’de oluşturulan politikaların incelenmesine ve gelişim sürecinin ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı, günümüze kadar Türkiye’de oluşturulmuş politika metinlerini irdeleyerek AUS’nin gelişimini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda giriş bölümünü takiben ilk olarak literatür taraması sonucunda elde edilen Japonya, AB ve ABD’nin AUS politikaları sunulmuştur. Sonrasında Türkiye’deki oluşturulmuş politikalar doküman analizi ile irdelenmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde ise genel değerlendirme sunulmuştur.

2.1. Dünyada AUS politikaları

Günümüzde gelişmiş ülkeler ulaşımdan kaynaklanan sorunların çözümleri için AUS’yi iyileştirmeye, geliştirmeye ve yaygınlaştırmaya yönelmekte, bu bağlamda çeşitli plan ve politikalar oluşturmaktadır. AUS konusunda önde gelen ülkelerin AUS politikaları aşağıda sunulmuştur.

Japonya’nın AUS Politikası:

Japonya’da 2009 yılında Bayındırlık, Altyapı, Ulaştırma Bakanlığı tarafından “Beyaz Kitap Belgesi” hazırlanmıştır. AUS ilk olarak bu belgenin “Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Uluslararası Standardizasyonu” başlığının altında yer almıştır. Beyaz Kitap; uygulamaların gelişiminde etkinlikleri arttırmak, yerel endüstrilerin gelişimini sağlamak ve uluslararası katkılar sağlamak amacı ile “Japonya Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)” ve “Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU)” tarafından belirlenen uluslararası standartlara destek vermektedir. Diğer yandan mevcut standartlarını uluslararası standartlara göre revize etmektedir (Njord vd., 2006; Uyanık, 2015).

Japonya’da AUS’ye yönelik yapılan Ar-Ge çalışmalarının ve yatırımlarının organizasyonu, AUS Japonya (ITS Japan) tarafından gerçekleştirilmektedir. Özerk bir kuruluş olan AUS Japonya; kamu kurumları, üniversiteler ve özel sektör iş birliği ile çalışmalarına devam etmektedir (ITS Japan, 2021a). AUS Japonya’nın hedefi, gelecekte dünyanın en güvenli yollarına ve ulaşımına sahip olmaktır. Bu hedef doğrultusunda bazı öncelikler belirlenmiştir. Bu öncelikler (Hasegawa, 2015; ITS Japan, 2021b);

- Kazaların önlenmesi,
- Kaza sonucu meydana gelen zararların giderilmesi
- Güvenli ulaşımın sağlanması,
- İnsan hayatını korumaya ve kamu bilinci oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılması,
- Sürdürülebilirliğin sağlanması için ihtiyaç duyulan politikaların oluşturulması ve uygulanması.

1995-2013 yılları arasında Japonya’da AUS çalışmaları üç aşamada gerçekleştirilmiştir (Hasegawa, 2015). İlk aşama “Gelişme ve Saha Değerlendirme” dir. Bu aşamada, kapsamlı bir AUS planı oluşturulması hedeflenmiştir. Plan içerisinde; araç navigasyonu, elektronik ücret toplama, sürüş güvenliği, trafik yönetimi, karayolu yönetimi, toplu ulaşım, ticari araç işlemleri, yaya desteği ve acil araç işlemleri uygulamaları yer almaktadır. İkinci aşama “Hızlandırılmış Yaygınlaşma” dır. Bu aşamada, AUS tanıtım rehberi oluşturulması hedeflenmiştir. Rehber içerisinde; karayolu trafik güvenliği, düzgün trafik akışı, uygunluk, ekonominin harekete geçirilmesi ve standartlaşma üzerinde durulmuştur. Üçüncü aşama ise “Sürdürülebilirlik için AUS” dir. Bu aşamada, AUS gelecek vizyonu oluşturulmuştur. Vizyonun temelinde ise sürdürülebilir hareketlilik yer almaktadır (Hasegawa, 2015; Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014).

2013 yılı ve sonrası için ise ulaşımda “AUS büyük veri uygulamaları” ve “bağlantılı ve otomatik sürüş sistemleri” olmak üzere iki ana tema belirlenmiştir. Bağlantılı ve otomatik sürüş sistemleri temasında, bağlantılı araç sistemleri ve otomatik sürüş sistemlerine odaklanılmıştır. AUS büyük veri uygulamalarında ise emisyon miktarlarını azaltmanın nicel değerlendirilmesi ve günlük hizmet ve afetler için birleştirilmiş bilgi platformu yer almaktadır (Hasegawa, 2015).

Japonya’da önemli AUS uygulamalarından biri olan “Araç Bilgi ve İletişim Sistemi” dijital bir veri haberleşme sistemidir. Sistem, araç içi navigasyon aracılığı ile sürücüler için gerekli trafik bilgilerini sağlamaktadır (VICS, 2021). Diğer yandan sürücülerin en uygun güzergahı bulmalarını

kolaylaştırmakta ve trafik sıkışıklığını azaltmaktadır. 2009 yılında Japonya’da bu sistem sayesinde CO₂ emisyonunda 2,4 milyon ton azalma sağlanmıştır. Diğer bir başarılı uygulama ise 2016 yılında özel araçlarda “ikinci nesil elektronik ücret toplama sistemleri” nin kullanılmış olmasıdır. Bu sistemler ile bir yıl içinde otoyol ücret ödeme turnikelerinde oluşan trafik sıkışıklıklarının %30 azaldığı ortaya koyulmuştur (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014; Tektaş ve Tektaş, 2019a).

Japonya, coğrafi konuma, nüfusa ve doğal afetlere odaklanarak eylem ve stratejiler hazırlamaktadır. Bu kapsamda Japonya, “yaşlanan nüfusu için ulaşım kolaylığı ve erişebilirlik sağlamayı, şiddetli depremlere dayanıklı yollar, köprüler, tüneller gibi altyapıları inşaa etmeyi, acil durum yönetim sistemlerini geliştirmeyi ve çok modlu ulaşım ile entegrasyon sistemini sağlamayı” amaçlamaktadır. Japonya’nın AUS stratejik hedefleri özet olarak aşağıda sunulmuştur (Hasegawa, 2015; Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014);

- Özellikle yaşlılar ve engelliler olmak üzere toplum için ulaşımın güvenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacak planları uygulamaya geçirmek,
- Sürdürülebilir çevre, toplum sağlığının iyileştirilmesi ve enerji verimliliğinin sağlanmasını içeren hedeflere ulaşabilmek için hareketliliğin artırılmasını sağlamak,
- İhtiyaç duyulan altyapıyı hazırlayarak otonom sürüşe geçişi kolaylaştırmak,
- AUS’ ye yönelik uluslararası pazarda geriye düşmemek için Ar-Ge ve bilimsel etkinlikleri desteklemek,
- Trafik verilerini korumaya, depolamaya, analiz etmeye ve erişime açık hale getirmeye yönelik çalışmalarda bulunmak,
- Seyahat süresini azaltmak, yaşam kalitesi ve bireysel hareketliliği artırmak için birbirleriyle entegre ulaşım modları kurgulamak.

Avrupa Birliği (AB)’nin AUS politikaları:

Avrupa Birliği (AB), ekonomik büyüme ve gelişim için ulaştırmanın itici bir güç olduğunun farkında olup bu yönde çalışmalar yapmaktadır. Bu bağlamda AUS’nin planlı bir şekilde geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için AB üyesi ülkeler için “2010/40/EU direktifi” ilan edilmiştir. Bu yönergenin temeli ulaştırma politikaları ile alakalı yol gösterici niteliğe sahip Beyaz Kitap Belgesi’ne dayanmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2010). Beyaz Kitap daha etkili, verimli, güvenli, sürdürülebilir ve temiz bir ulaşım sistemi için BİT’lerin kullanılmasının gerekliliğine vurgu yapmaktadır.

2010/40/EU Direktifi’nin amacı; farklı ulaşım türleri ile iletişime geçebilecek, daha verimli, güvenli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir karayolu ulaşımını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda AUS sürecine yönelik genel çerçevenin belirlenmesini de hedeflemektedir. 2010/40/EU Direktifi’nde "Ulaştırma sisteminde artan trafik sıkışıklığından bahseden genel çerçeve bölümünde, 2020 yılına kadar yük taşımacılığında %55 ve yolcu taşımacılığında %36 artış olacağı öngörülmektedir. Bununla beraber artan enerji tüketimi neticesinde çevre üzerinde oluşan negatif etkiler (2020 yılına kadar ulaştırmanın neden olacağı emisyonun %15 artacağı tahmini gibi) sonucunda bu sorunları halletmeye yönelik yenilikçi yaklaşımlar uygulanması konusunu gündeme getirmiştir." ibaresi yer almaktadır (Avrupa Komisyonu, 2010). Bu ibare 2010/40/EU Direktifi’nde bazı alanların daha öncelikli olduğunu göstermektedir.

Bu alanlar (Avrupa Komisyonu, 2010);

- Karayolu trafik ve seyahat verilerinin en faydalı şekilde kullanılması,
- AUS hizmetlerinin trafik yönetiminde ve yük taşımacılığında devamlılığının sağlanması,
- Karayolunun emniyet ve güvenliğinde AUS uygulamalarının kullanılması,
- Taşıtların ulaşım altyapılarına entegre edilmesi

şeklindedir.

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nin AUS politikası:

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde AUS kapsamında fonlara yetki verilmesi için “21. Yüzyılda Gelişim İçin İlerleme (MAP 21)” yasası çıkarılmıştır (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2012). Yasanın “Akıllı Ulaşım Sistemleri Araştırması” başlığının içeriğinde AUS kapsamında yapılacak faaliyetler ile fonların kullanılmasına değinilmiştir. Bu başlıkta detayları ile kapsamlı bir planın hazırlanılmasına vurgu yapılmıştır. Ayrıca yasada “AUS teknolojisinin daha yaygın kullanılmasına yönelik yöntemleri, kaza ve acil durum yöntemlerini, trafik operasyonlarını, trafik yoğunluğu ve akış bilgilerini, yük yönetimlerini, yüzey ulaştırma şebekeleri yönetimlerini Ulusal Karayolu Sistem performansına katkı sağlamak için teşvik etmeyi hedeflemiştir”.

Bu hedeflerle (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2012);

- Kentsel ve kırsal bölgelerde yolcular ile yük taşımacılığına yönelik AUS uygulamalarının entegre edilmesi ve yaygınlaştırılmasının sağlanması,
- Yerel, eyalet ve federal ulaşım sorumlularının, ulaşımın planlanması sürecinde AUS konusuna hâkim olmasının sağlanması,
- Faaliyet planlarıyla bölgesel iş birliğinin etkili bir AUS'nin yaygınlaştırılabilmesi için geliştirilmesi,
- AUS'nin yaygınlaştırılabilmesi için bireysel kaynakların da kullanılmasının desteklenmesi,
- Motorlu taşıtlar üretimi yapan firmalarla iş birliğine girerek motorlar ile taşıtların güvenliğinin artırılmasına yönelik sistemler geliştirilmesi ve bu sistemlerin desteklenmesi,
- Ticari motorlu araçların AUS uygulamaları ile güvenliklerinin artırılması için destek verilmesi,
- AUS uygulamalarının gelişimi, işletimi ve bakımı hususunda çalışacakların desteklenmesi,
- AUS'nin bakımı, onarımı ve işletilmesine devamlı desteğin sağlanması,
- Kullanıcıların, araçların ve altyapıların bağlantısını sağlayacak iş birliği modeli geliştirilmesi planlanmıştır.

2015 yılında ABD'de, “Amerika'nın Karayolu Taşımacılığını Düzeltme (FAST)” Yasası yürürlüğe girmiştir (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2015). Bu yasada, ulaşım araştırma ve planlama koordinasyonunun ABD Ulaştırma Bakanlığı Sekretarya Ofisi tarafından yapılması ve yasa kapsamının çok modlu olmasının gerekliliği bildirilmiştir. Bakanlığın AUS vizyonu “Toplumun hareket tarzını dönüştür” şeklindedir. AUS'nin misyonu ise “Toplumun daha güvenli, etkili ve verimli hareket edebilmesi için BİT'lerden faydalanarak Ar-Ge ve eğitim faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi” olarak ifade edilmektedir. Bakanlık ülkedeki ulaşım sektörüne yönelik 2014-2018, 2015-2019 ve 2017-2021 yılları için öncelikler, stratejiler, eylemler ve planlar oluşturmuştur (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2015).

Temaların bütününe bakıldığında özellikle “çevre” konusunun her dönem için kritik bir konu olduğu görülmektedir. Çevreye yönelik oluşturulan stratejilerin, ulaşımdan kaynaklanan çevresel sorunları azaltmaya veya önlemeye yönelik olduğu görülmektedir. Bakanlığın bu alandaki amacı, ulaşımdan kaynaklanan emisyonları azaltmaya yönelik sürdürülebilir politikalar ve yatırımlar geliştirmektir.

Diğer yandan ülke genelinde AUS'nin yaygınlaştırılmasını etkin ve verimli bir şekilde sağlamak için kendi AUS mimarisini oluşturan ABD, elektrikli araçların üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması hususunda da lider konumdadır. Bağlantılı Araç Teknolojisi için ise “Özel Kısa Menzilli İletişim (DSRC)” teknolojisini geliştirerek, araçların kendi arasında ve yol kenarı altyapısı ile bağlantı kurabilmesini ve daha güvenli ve zamandan tasarruf sağlayan sürüş gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (ABD Ulaştırma Bakanlığı, 2020). Ayrıca otonom araçların kullanımının artmasıyla emisyon miktarının ve yakıt tüketiminin %50 oranında azalacağını öngören ABD, kanuni düzenlemelerini de otonom araçların yaygınlaşmasına uygun hale getirmektedir (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2019).

Artan nüfus, hızlı kentleşme ve özel araç kullanımındaki artışlar; trafik sıkışıklığı, zaman kaybı, enerji tüketimi, artan emisyon miktarı gibi çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. İncelenen dünya örneklerinde görüldüğü üzere AUS bu sorunların çözümünü kolaylaştırmakta ve AUS uygulamaları ile

sürücülere daha güvenli, konforlu, esnek ve verimli bir yolculuk yapma imkânı sunulmaktadır. Diğer yandan trafik yönetimi ve denetimi, AUS ile daha kolay ve verimli hale gelmektedir. Ayrıca temel yaklaşım olarak pek çok gelişmiş ülke, özel araç kullanımını azaltmaya yönelik politikalar ortaya koymaktadır.

3. Materyal ve yöntem

3.1. Materyal

Bu çalışmada günümüze kadar Türkiye’de oluşturulmuş politika metinlerinde akıllı ulaşım sistemlerini (AUS)’nin gelişimini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye’de AUS’ye yönelik çalışmalar yürüten kamu kurum ve kuruluşları tarafından hazırlanan raporlar ve strateji belgelerinden faydalanılmıştır. İncelenen belgeler şu şekilde sıralanabilir: “Ulusal Bilim Teknoloji ve Yenilik Stratejisi ve Eylem Planı, 2003-2023” (TÜBİTAK, 2004), “9. Kalkınma Planı, 2007-2013” (DPT, 2007), “Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Stratejik Plan, 2009-2013” (UDHP, 2009), “Ulusal İklim Değişikliği ve Stratejisi Belgesi, 2010-2020” (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2010), “Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023, 2011-2023” (Ulaştırma Bakanlığı, 2011), “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 2012- 2023” (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012), “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı, 2014-2023” (UDHP, 2014), “10. Kalkınma Planı, 2014-2018” (Kalkınma Bakanlığı, 2013), “Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı”, 2015-2018 (Kalkınma Bakanlığı Bilgi Toplumu Dairesi Başkanlığı, 2014), “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Kapsamında Türkiye’nin Mevcut Durum Analizi Raporu, 2017” (Kalkınma Bakanlığı, 2017), “Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan, 2019-2023” (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019), “11. Kalkınma Planı, 2019-2023” (Kalkınma Bakanlığı, 2019), “Ulusal Akıllı Şehir Stratejisi ve Eylem Planı, 2020-2023” (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019), “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı” (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020), “Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi Ve Eylem Planı, 2021-2023” (Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı, 2021). Bunlar içinde Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı, 2014-2023, Ulusal Akıllı Şehir Stratejisi ve Eylem Planı, 2020-2023 ve Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı öne çıkmaktadır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman analizi kullanılmıştır. Doküman analizi, belirli bir sistematikte belgeleri analiz etmek ve belgelerden veri elde etmek için kullanılmaktadır (Sak vd., 2021; Wach, 2013). Doküman analizi, belgelerin incelenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Kiral, 2020). Corbin ve Strauss (2008)’e göre doküman analizi, “anlam çıkarmak, ilgili konu hakkında bir anlayış oluşturmak ve ampirik bilgi geliştirmek için verilerin incelenmesini ve yorumlanmasını gerektirmektedir”.

Merriam (2009)’a göre ise doküman analizi; “uygun dokümanları bulma, dokümanların orijinalliğini kontrol etme, kodlama ve kataloglama konusunda bir sistematik oluşturma ve veri analizi yapma (içerik analizi)” olmak üzere 5 aşamadan oluşmaktadır. Bu doğrultuda ilk aşamayı gerçekleştirmek için Türkiye’deki kamu kurum ve kuruluşları tarafından hazırlanmış politika metinleri araştırılmıştır. İncelenen politikalar kurumların resmi web sayfasından elde edildiği için ikinci aşama olan dokümanların orjinalliğini kontrol etme aşaması tamamlanmıştır. Üçüncü aşamada politikaları AUS temelinde irdelemek için “akıllı ulaşım sistemleri, AUS, akıllı yol, bilgi sistemleri, ulaşım araçları, trafik yönetimi, mobilite, yeni nesil araçlar” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Son aşamada ise içerik analizi yapılarak bulgular sunulmuştur.

4. Bulgular

TÜİK 2020 verilerine göre kentlerdeki nüfus artış oranı %50,5 ve özel otomobil sayısı artış oranı %54,8’tir (TÜİK, 2021a, 2021b). Kentleşme ve özel otomobil sahipliğindeki artışlar, ulaşımaya yönelik talebi ve trafik yoğunluğunu artırmaktadır. Bu durum, Türkiye’de de AUS uygulamalarının kullanımının artmasının ve desteklenmesinin gerekliliğini göstermektedir. Bu kapsamda Türkiye’deki çeşitli kurum ve kuruluş tarafından AUS’ye yönelik pek çok çalışma hazırlanmaktadır. 2000’li yıllardan itibaren oluşturulan plan, politika ve strateji belgelerinde akıllı ulaşım sistemlerine altlık oluşturacak bazı

hedeflerin geliştirildiği görülmektedir. Türkiye’de kurumlar tarafından oluşturulan stratejik belgeler kronolojik olarak aşağıda sunulmuştur.

Türkiye’de AUS’nin tarihsel gelişimine bakıldığında AUS alanında ilk uygulama 1984 yılında trafik yönetim sistemleri konusunda yapılmıştır (Akbaş ve Akdoğan, 2001). Ancak uygulamaların stratejik belgelerde yer alması zaman almıştır. 2004 yılında hazırlanan Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2023 Strateji Belgesi’nde AUS yerine akıllı araçlar ve akıllı yol anahtar kelimelerinin ön plana çıktığı görülmektedir (TÜBİTAK, 2004). İlerleyen süreçte ise AUS’nin yaygınlaştırılması hedefinin hem kalkınma planlarında hem de çeşitli politika ve strateji belgelerinde yer aldığı görülmektedir.

2007 yılında hazırlanan 9. Kalkınma Planı (2007-2013)’nda ise; enerji ve ulaştırma altyapısının geliştirilmesi hedefinin altında Kent Bilgi Sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasına yönelik stratejiler yer almaktadır. Ayrıca sürdürülebilir bir kent içi ulaşım sistemi oluşturmak için bisiklet ulaşımının özendirilmesi hedeflenmektedir (DPT, 2007). Küresel ölçekte rekabet etme ve bilgi toplumuna dönüşme vizyonlarını içeren 9. Kalkınma Planı’nda hem AB’ye uyum sürecini tamamlamak hem de Türkiye’nin rekabet edebilirliğini artırmak için ulaşım sisteminde teknolojik gelişmelerden faydalanılmaya başlandığı görülmektedir.

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) kavramının kullanıldığı ilk plan 2009 yılında hazırlanan Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Stratejik Plan (2009-2013)’ıdır. Bu planda; karayolu ve demiryolu ulaşımının daha güvenli olması için AUS’nin kullanılması önerilmektedir (UDHP, 2009). Bu plan Türkiye’de AUS’ye yönelik geliştirilen politikaların temelini “güvenlik” unsurunun oluşturduğunu göstermektedir.

Ulaşımdan kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri AUS’dan faydalanarak azaltmanın hedeflendiği belge ise 2010 yılında hazırlanan Ulusal İklim Değişikliği ve Stratejisi Belgesi (2010-2020)’dir. Bu belgede ulaşım önemli yer tutmaktadır. Belgede ulaştırma başlığının altında; AUS uygulamalarının geliştirilmesi, çevre dostu ulaşım araçlarının (bisiklet vb.) kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik düzenlemelerin yapılması, toplu taşıma araçlarında alternatif yakıt ve temiz araç teknolojilerinin kullanımının yaygınlaştırılması gibi çeşitli öneriler yer almaktadır. Sera gazı emisyon kontrolü başlığının altında ise çevre ve teknoloji boyutu bir arada ele alınarak yeni ve alternatif yakıtların kullanılmasının desteklendiği ve ekonomik araçların geliştirilmesinin hedeflendiği görülmektedir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2010). Çevresel sürdürülebilirliğin öneminin artması, en çok emisyon üreten sektörlerden biri olan ulaşım alanını da etkilemektedir. Bu kapsamda güvenlikten sonra çevresel sürdürülebilirliğin de AUS politikalarının oluşturulmasında önemli bir unsur olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca bu belgede AUS’nin yanında özellikle çevre dostu ulaşım araçları, alternatif yakıt, toplu taşıma anahtar kelimelerinin altına çizildiği görülmektedir.

2011 yılında hazırlanan Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023 (2011-2023)’te daha önceki politikalarından farklı olarak BİT’lere yapılan vurgunun arttığı aynı zamanda da AUS, çevre dostu ulaşım araçları, AR-GE ve kent bisikletleri anahtar kelimelerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Belgede; “BİT’lerden en üst düzeyde yararlanılması, AUS’nin geliştirilmesi, BİT’leri kullanan çevre dostu araçların kullanımının artırılması, alternatif ulaşım sistemlerine yönelik AR-GE çalışmalarının yapılması, toplu taşıma sistemlerinden erişimi kolay olan bisiklet park yerlerinden kiralanabilen “kent bisikletleri”nin kullanımının desteklenmesi” hedeflenmektedir (Ulaştırma Bakanlığı, 2011).

Ulusal İklim Değişikliği ve Stratejisi Belgesi ve Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023 belgelerine ek olarak 2012 yılında hazırlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012- 2023)’nde de ulaşımdan kaynaklanan emisyon miktarının ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik AUS kullanımının yaygınlaştırılmasını içeren politikalar yer almaktadır. Bu belge; ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması için AUS’nin yaygınlaştırılmasının ve birbirlerini destekleyen ulaşım master planlarının yürürlüğe konulmasının gerekliliğinin altına çizmiştir. Bu kapsamda büyük şehirlerde toplu taşımanın önceliklendirilmesi, toplu taşıma istasyonlarında bisiklet ve araç park alanlarının oluşturulması gibi öneriler getirilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012). Bu belgede AUS, akıllı trafik yönetimi, toplu taşıma, yakıt tüketimi, enerji verimliliği anahtar kelimelerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Ayrıca bu belge “enerji tüketimi, enerji verimliliği” kavramlarının AUS politikalarının oluşturulmasında bir diğer önemli unsur olduğunu göstermektedir.

2014 yılında hazırlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ile daha önce dağınık ve birbirinden bağımsız olarak akıllı ulaşım sistemlerine yönelik oluşturulan strateji, politika, eylem ve hedefler bir bütün olarak ele alınmıştır. Bu belge, AUS alanındaki ilk strateji belgesidir. Belgenin genel amacı; “Bütün ulaşım çeşitlerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılmasıyla elde edilen gerçek zamanlı bilgiler aracılığıyla entegre, güvenli, etkin, verimli, yeniliğe açık, çevre dostu, sürdürülebilir ve akıllı bir ulaşım ağına sahip olmak, yolcu ve yük hareketliliğini kolaylaştırmaktır.” (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014). Belgenin 5 stratejik amacı bulunmaktadır. Bu amaçlar aşağıda sunulmuştur;

- “Ülke genelinde AUS’nin planlama ve entegrasyonu için idari ve teknik mevzuatın ulusal ve uluslararası ihtiyaçlara göre geliştirilmesi”,
- “Küresel düzeyde rekabet edebilecek AUS sektörünün kurulması”,
- “Ülke genelinde AUS uygulamalarının yaygınlaştırılarak trafikte güvenliğinin sağlanması ve mobilitenin artırılması”,
- “AUS ile hareket engeli olan bireylerin ulaşım araçlarına ve hizmetlerine erişiminin daha kolay hale getirilmesi”,
- “Ulaşımdan kaynaklanan yakıt tüketimi ve emisyon miktarının azaltılması”.

Bu belgede AUS’nin yanında mobilitenin artırılmasına, yakıt tüketimine ve emisyon miktarına odaklanıldığı görülmektedir.

Onuncu Kalkınma Planı ise 2013 yılında hazırlanmış olup planda kent içi ulaşımında trafik yönetimi ve toplu taşıma hizmetlerinde BİT ve AUS’nin etkin bir şekilde kullanılmasının gerekliliği bildirilmiştir. Ayrıca plan ile akıllı bisiklet sistemlerinin yaygınlaştırılması ile enerji verimliliğinin sağlanması da hedeflenmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2013). Bu planda bisiklet, kent bisikleti gibi kavramların BİT’lerin ve özellikle de Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi’nin etkisiyle akıllı bisiklet kavramına dönüştüğü görülmektedir.

2014 yılında hazırlanan Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı (2015-2018)’nda; bilgi ve iletişim teknolojileri destekli yenilikçi çözümler başlığının altında AUS’nin geliştirilerek farklı kurumların bu alandaki uygulamaları arasında eşgüdüm sağlanması hedeflenmiştir (Kalkınma Bakanlığı Bilgi Toplumu Dairesi Başkanlığı, 2014). Böylece akıllı kentlerin oluşturulması sürecine katkı sunulmaktadır.

AUS kullanımını destekleyen bir diğer belge ise 2017 yılında Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Kapsamında Türkiye’nin Mevcut Durum Analizi Raporu” dur. Raporda “akıllı kentler” kapsamında AUS’ye yönelik politikaların oluşturulmasının gerekliliği ortaya konulmuştur (Kalkınma Bakanlığı, 2017). Bu belge ve Bilgi Toplumu Stratejisi ve Eylem Planı, Ulusal Akıllı Şehir Stratejisi ve Eylem Planı’nın hazırlanması sürecine katkı sunmaktadır.

2019 yılında hazırlanan Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Stratejik Plan (2019-2023)’ında ve yine 2019 yılında hazırlanan On Birinci Kalkınma Planı’nda AUS uygulamalarının yaygınlaştırılmasının desteklenmesi Türkiye’de AUS’nin önemini giderek artırmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2019; Kalkınma Bakanlığı, 2019). On Birinci Kalkınma Planı’nda AUS’nin yanında enerji verimliliği ve zaman tasarrufu anahtar kelimelerinin de ön plana çıktığı görülmektedir.

2019 ve 2020 yıllarında AUS’ye yönelik politikaların hız kazandığı görülmektedir. Akıllı kentlerin önemli bileşenlerinden biri olan akıllı ulaşımaya yönelik eylemlerin yer aldığı bir diğer plan ise 2019 yılında hazırlanan Ulusal Akıllı Şehir Stratejisi ve Eylem Planı (2020-2023)’dir. Planda; yeni nesil araçların ve ulaşım modellerinin kullanılması, ulaşımında erişilebilirliğin desteklenmesi, ulaşım altyapısının geliştirilmesi, acil durum ve lojistik yönetiminin sağlanması gibi hedefler yer almaktadır. Ayrıca bu zamana kadar yapılmış planlardaki AUS’ye yönelik politikaların devamlılığı ilgili Eylem Planı’nın kapsamındadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2019). Akıllı kentler konseptinin bileşenlerinden birinin akıllı ulaşım olması ve Türkiye’de de akıllı kent dönüşüm sürecinin başlamış olması AUS ve akıllı kent kavramlarının iç içe olduğunu ve AUS’ye yönelik oluşturulan politikalarda akıllı kentlerin de önemli bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca belgede AUS, yeni nesil araçlar, AUS altyapısı anahtar kelimelerine vurgu yapıldığı görülmektedir.

BİT’lerde yaşanan hızlı gelişmeler, kentleşme, nüfusun ve araç sayılarının artması 2014 yılında hazırlanan “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023)’nin güncellenmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu bağlamda “Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı” hazırlıkları başlamıştır. 2020 yılında hazırlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı’nın AUS ülke vizyonu; “İleri bilişim teknolojileri ile Türkiye’de insan ve çevre odaklı ulaşım sistemi” ve bu vizyona ulaşmak için ortaya koyulan misyon ise “Ülkemizde tüm ulaşım modlarına entegre, güncel teknolojileri kullanan, yerli ve milli kaynaklardan yararlanan, verimli, güvenli, etkin, yenilikçi, dinamik, çevreci, katma değer sağlayan ve sürdürülebilir akıllı bir ulaşım ağı oluşturmak” olarak belirlenmiştir.

Bu vizyon ve misyon çerçevesinde (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014);

- “AUS Altyapısının Geliştirilmesi”
- “Sürdürülebilir Akıllı Hareketliliğin Sağlanması”
- “Yol ve Sürüş Güvenliğinin Sağlanması”
- “Yaşanabilir Çevre ve Bilinçli Toplum Oluşturulması”
- “Veri Paylaşımı ve Güvenliğinin Sağlanması”

şeklinde beş temel stratejik amaç belirlenmiştir. Bu planın daha önceki strateji belgelerinin hazırlanmasında önemli unsur olan güvenlik, çevre, bilgi toplumu, BİT kavramlarını destekler nitelikte olduğu görülmektedir. Ancak bu unsurlara ek olarak veri paylaşımı ve veri güvenliği konusunun da AUS’nin gelişim sürecinde önemli bir unsur olduğu görülmektedir. Ayrıca bu belgede AUS altyapısı ve akıllı hareketlilik kavramlarının yanında araç paylaşımı ve sürüş paylaşımı kavramlarının da yer aldığı görülmektedir.

Son olarak 2021 yılında hazırlanan Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2021-2023)’nda; trafik yönetiminde AUS’dan yararlanılması, akıllı ulaşım sistemlerinin standartlarının oluşturularak kurulması/yaygınlaştırılması, ulaşım türlerinin verimliliği ve etkinliği artırılarak türler arası bütünleşmenin sağlanması, bisikletle hareketliliğin özendirilmesi gibi politikaların yer aldığı görülmektedir (Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı, 2021). Bu belgede ise AUS, akıllı trafik yönetimi, Akıllı Denge Sistemi anahtar kelimeleri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca özellikle son iki belgede AUS’nin standardizasyonu konusuna vurgu yapıldığı görülmektedir.

5. Sonuç ve tartışma

Dünya genelinde özellikle gelişmiş ülkelerin AUS’yi iyileştirmeye, geliştirmeye ve yaygınlaştırmaya yönelik kendi AUS planlarını hazırladığı görülmektedir. Türkiye’de de AUS’ye yönelik oluşturulan ilk plan 2014 yılında hazırlanmış olup, 2020 yılında ise ihtiyaçlar doğrultusunda yeni bir plan hazırlanmıştır. AUS’ye yönelik doğrudan plan hazırlanmasında geç kalınmış olsa da günümüze kadar yapılan diğer politika belgeleri incelendiğinde AUS’nin gelişimini destekleyen politikaların yer aldığı görülmektedir. Bu çalışma ile günümüze kadar Türkiye’de oluşturulmuş politika metinlerinde AUS’nin gelişimini ortaya koymak amaçlanmıştır.

1990’lı yıllardan sonra özellikle gelişmiş ülkelerde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan AUS, ülkemizde ilk olarak 1984 yılında kullanılmış ancak 2007 yılından sonra hazırlanan strateji belgelerinde kendisine yer bulmaktadır. 2009 yılına kadar hazırlanan iki strateji belgesinde AUS kavramı doğrudan yer almamış, akıllı araç, akıllı yol, kent bilgi sistemleri kavramları ile ulaşım sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ancak 2009 yılından günümüze kadar hazırlanan bütün strateji belgelerinde ise AUS kavramının yer aldığı görülmektedir. Hatta ulaşım sistemine teknolojinin entegrasyonunun yanında ulaşımdan kaynaklanan çevresel sorunları en aza indirmeye yönelik de bu teknolojilerin kullanımı desteklenmiştir. Bu politikalar çevresel boyutta AUS’yi kullanarak emisyon miktarını ve yakıt tüketimini azaltmaya, enerji verimliliğini artırmaya odaklanmıştır. Bu kapsamda da çevre dostu ulaşım araçlarına ve toplu taşımaya yönelmeyi desteklemiştir.

2019 yılından itibaren oluşturulan politikalarda yeni nesil araçlar gibi teknolojinin kendisini daha çok gösterdiği, özellikle paylaşım ekonomisinin ortaya çıkması ile araç ve sürüş paylaşımlarına yönelik yenilikçi ulaşım stratejilerinin desteklendiği görülmektedir. Ayrıca bu dönemlerde AUS’nin

yaygınlaşması için en önemli ihtiyaçlardan olan AUS altyapısının oluşturulmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle birlikte ülkelerin benimsemeye başladığı akıllı çevre, akıllı insanlar, akıllı yönetim, akıllı ekonomi, akıllı yaşam ve akıllı ulaşım (hareketlilik) olmak üzere 6 bileşene sahip olan “Akıllı Kent” yaklaşımının Türkiye’de uygulanmasına yönelik ilk planın 2019 yılında hazırlanması akıllı ulaşımına yönelik çalışmaları hızlandırmıştır.

2014 yılında AUS’nin ulusal ve uluslararası ihtiyaçlara göre düzenlenmesi için doğrudan atılan ilk adım Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve 2014-2016 Eylem Planı’dır. AUS alanında atılan bir diğer önemli adım ise 2020 yılında hazırlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı’dır. Bu strateji belgesi ile bir önceki plandaki eksiklikler giderilerek daha kapsamlı plan hazırlanması hedeflenmiştir. Bu strateji belgesi, diğer ülkeler ile rekabet edebilmek ve AUS’ye ayak uydurabilmek adına AUS’nin geliştirilmesine yönelik ülkenin ihtiyaç duyduğu bütün bilgileri içermektedir.

Gelişmiş ülkelerin AUS politikalarını oluştururken kendi ülkelerinin özelliklerine, istek ve ihtiyaçlarına odaklandığı ve bu kapsamda eylem ve stratejilerin hazırlandığı görülmektedir. Ülkemizde de Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve Karayolu Trafik Güvenliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı’nda AUS standardizasyonu konusuna vurgu yapılması bundan sonra yapılacak çalışmaların ülkenin istek ve ihtiyaçları ile paralel olacağı göstermektedir.

Özetle; çeşitli kamu kurumları tarafından hazırlanan bu strateji belgeleri incelendiğinde; güvenli ulaşımın ve sürdürülebilirliğin sağlanması, emisyon miktarının ve enerji tüketiminin azaltılması, etkin ve etkili bir şekilde BİT’lerden yararlanılması ve bu doğrultuda AUS’nin yaygınlaşmasına yönelik hedeflerin ve eylemlerin oluşturulduğu görülmektedir. 2000’li yıllardan bu yana oluşturulan birçok strateji belgesinde akıllı ulaşımına yönelik stratejiler yer almakta olup, günümüzde yerel yönetimler, özel sektör ve STK’ların girişimleriyle ivme kazanmıştır. Öte yandan Türkiye’deki kentlerde AUS’ye yönelik yapılan girişimler çeşitli düzeylerde uygulama alanı bulmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşımdan kaynaklanan emisyon miktarının 2030 yılına kadar %50, 2050 yılına kadar %80 oranında olacağı göz önüne alındığında (IEA, 2009), Dünya ve Türkiye AUS yatırımları ve uygulamaları gelecek yıllarda oldukça önem arz edecektir (Tektaş ve Tektaş, 2019b).

Türkiye’deki akıllı ulaşım sistemi henüz gelişme aşamasındadır. Ancak AUS’nin ülkemizdeki ulaşım verimliliğini yüksek oranda artırabileceği, sorunsuz ve güvenli ulaşımı verimli bir şekilde garanti edebileceği, seyahat konforunu artırabileceği, çevre kalitesini iyileştireceği, enerji tüketimini azaltabileceği ve çeşitli ulaşım modları sunacağı ortadadır. Bu nedenle, dünyadaki diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de AUS’nin araştırılmasına ve yaygınlaştırılmasına daha fazla önem verilmelidir. Ayrıca bu çalışma ile AUS konusunda Türkiye’nin mevcut durumunu ortaya koyarak, politika yapımcıların ve ilgili tüm aktörlerin AUS politikaları oluşturma sürecine katkı sunulması beklenmektedir. Son olarak yazarlar tarafından ulusal yazında Türkiye’de oluşturulmuş politika metinlerini inceleyerek AUS’nin gelişimini ortaya koyan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu durum çalışmanın gerekliliğini ve özgün değerini de ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda ise Türkiye’deki AUS politikaları ile dünyadaki AUS politikalarının nicel yöntemlerle karşılaştırmaları yapılarak, Türkiye’nin küresel ölçekte konumunun ortaya koyulması önerilmektedir.

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

ABD Ulaştırma Bakanlığı. (2012). *Moving ahead for progress in the 21st Century (MAP 21)*. Erişim: 13 Ocak 2022, <https://www.fhwa.dot.gov/map21/>.

ABD Ulaştırma Bakanlığı. (2015). *Fixing America's surface transportation act or "FAST Act"*. Erişim: 13 Ocak 2022, <https://www.fhwa.dot.gov/fastact/>.

ABD Ulaştırma Bakanlığı. (2020). Bağlantılı araçlar nasıl çalışır?. Erişim: 13 Ocak 2022, <https://www.transportation.gov/research-and-technology/how-connected-vehicles-work>.

Akbaş, A. & Akdoğan, E. (2001). İstanbul kent içi trafik kontrol sistemi üzerine bir durum değerlendirmesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası İstanbul'da Kent İçi Ulaşım Sempozyumu*, 28-30.

Avrupa Komisyonu. (2010). Intelligent transport systems, EU-funded research for efficient, clean and safe road transport, Directorate-General for Research Transport, *EUR 24504*, Belgium. Erişim: 13 Ocak 2022, <https://pq-ue.ani.pt/brochuras/7pq/transportes/intelligent-transport-systems.pdf>.

Corbin, J. & Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory*. Thousand Oaks: Sage.

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2010). Ulusal iklim değişikliği ve stratejisi belgesi (2010-2020). Erişim: 8 Ocak 2022, http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/k0fZ2+Ulusal_Iklim_Degisikligi_Strateji_Belgesi_2010-2020.pdf

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2019). 2020-2023 Ulusal akıllı şehirler stratejisi ve eylem planı. Erişim: 11 Ocak 2022, <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf>

DPT. (2007). 9. kalkınma planı (2007-2013). Erişim: 1 Ocak 2022, <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Dokuzuncu-Kalk%C4%B1nma-Plan%C4%B1-2007-2013%E2%80%8B.pdf>

Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Başkanlığı. (2021). Karayolu trafik güvenliği strateji belgesi ve eylem planı (2021-2030). Erişim: 8 Ocak 2022, http://www.trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/01-Haberler/03-2021/2021_2023-Karayolu-Trafik-Guvenligi-Eylem-Plani.pdf

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2012). Enerji verimliliği strateji belgesi (2012-2023). Erişim: 8 Ocak 2022, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>

Hasegawa, T. (2015). Intelligent transport systems. Erişim: 13 Ocak 2022, https://www.iatss.or.jp/common/pdf/en/publication/commemorativepublication/iatss40_theory_05.pdf

ITS Japan. (2021a). What is ITS Japon. Erişim: 13 Ocak 2022, https://www.its-jp.org/english/what_its_e/

ITS Japan. (2021b). About ITS. Erişim: 13 Ocak 2022, <https://www.mlit.go.jp/road/ITS/>

IEA. (2021). Erişim: 5 Ocak 2022, Yakıtlar ve teknolojiler. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf>

Kalkınma Bakanlığı. (2013). Onuncu kalkınma planı 2014-2018. Erişim: 1 Ocak 2022, <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/Onuncu-Kalk%C4%B1nma-Plan%C4%B1-2014-2018.pdf>

Kalkınma Bakanlığı. (2017). Sürdürülebilir kalkınma hedefleri kapsamında Türkiye'nin mevcut durum analizi raporu. Erişim: 1 Ocak 2022, http://www.ceidizleme.org/ekutuphaneresim/dosya/753_1.pdf

Kalkınma Bakanlığı. (2019). On birinci kalkınma planı 2019-2023. Erişim: 1 Ocak 2022, <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>

Kalkınma Bakanlığı Bilgi Toplumu Dairesi Başkanlığı. (2014). Bilgi toplumu stratejisi ve eylem planı 2015-2018. Erişim: 1 Ocak 2022, http://www.sp.gov.tr/tr/temel-belge/s/109/Bilgi+Toplumu+Stratejisi+ve+Eylem+Plani+_2015-2018

Kiral, B. (2020). Nitel Bir Veri Analizi Yöntemi Olarak Doküman Analizi. *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 170-189.

- Levinson, D. M., Gillen, D., & Kanafani, A.** (1998). The Social Costs of Intercity Transportation: A Review and Comparison of Air and Highway. *Transport Reviews*, 18(3), 215-240. doi: 10.1080/01441649808717014
- Lin, Y., Wang, P., & Ma, M.** (2017). Intelligent transportation system (ITS): Concept, challenge and opportunity. *Proceedings of the IEEE 3rd International Conference On Big Data Security On Cloud (Bigdatasecurity), IEEE International Conference On High Performance And Smart Computing (Hpsc), And IEEE International Conference On Intelligent Data And Security*. Beijing, China, 167-172, doi: 10.1109/BigDataSecurity.2017.50.
- Merriam, S. B.** (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.
- Njord, J., Peters, J., Freitas, M., Warner, B., Allred, K. C., Bertini, R. L., ... & Warne, T.** (2006). Safety applications of intelligent transportation systems in Europe and Japan (No. FHWA-PL-06-001). United States. Federal Highway Administration. Office of International Programs. Erişim: 11 Ocak 2022, <https://international.fhwa.dot.gov/ipsafety/ipsafety.pdf>
- Rodrigue, J.P., Comtois, C. & Slack, B.** (2013). *The Geography of Transport Systems*. Routledge.
- Sak, R., Şahin Sak, İ.T., Öneren Şendil, Ç., & Nas, E.** (2021). Bir Araştırma Yöntemi Olarak Doküman Analizi. *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 4(1), 227-256. doi.org/10.33400/kuje.843306
- Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., & Teytelboym, A.** (2010). Part I: Externalities and Economic Policies in Road Transport. *Research in Transportation Economics*, 28(1), 2-45.
- Spellerberg, I. A. N.** (1998). Ecological Effects of Roads and Traffic: A Literature Review. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(5), 317-333. doi.org/10.1046/j.1466-822x.1998.00308.x
- Sussman, J.** (2005a) *Perspectives on intelligent transportation systems (ITS)*. Springer Science+Business Media.
- Sussman, J.** (2005b). Transportation Operations: An Organizational and Institutional Perspective. *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*, 21-74. DOI: 10.1007/0-387-23260-5_2
- Tektaş M., Korkmaz K., & Erdal H.** (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları. *Balkan Journal of Social Sciences*, 561-577.
- Tektaş, N., & Tektaş, M.** (2019a). Dünyada Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Gelecek Hedefleri Japonya Örneğinin İncelenmesi. *Paradoks: The Journal of Economics, Sociology & Politics*, 15(2).
- Tektaş, M., & Tektaş, N.** (2019b). Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.
- TÜBİTAK.** (2004). Ulusal bilim teknoloji ve yenilik stratejisi ve eylem planı (2003-2023). Erişim: 8 Ocak 2022, https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf
- TÜİK.** (2021a). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları (2020). Erişim: 3 Ocak 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210>
- TÜİK.** (2021b). Motorlu kara taşıtları. Erişim: 3 Ocak 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2020-37410>
- Ulaştırma Bakanlığı.** (2011). Ulaşım ve iletişim stratejisi hedef 2023 (2011-2023). Erişim: 7 Ocak 2022, http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/93C5Y+Turkiye_Ulasim_velletisim_Stratejisi.pdf
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2019). Stratejik plan (2019-2023). Erişim: 7 Ocak 2022, <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/stratejik-yonetim/uab-2019-2023-stratejik-plani-16-10-2019.pdf>
- Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHP).** (2014). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı. Erişim: 7 Ocak 2022, http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/rJ6g4+Ulusal_Akilli_Ulasim_Sistemleri_Strateji_Belgesi_2014-2023_ve_Eki_Eylem_Plani_2014-2016_.pdf

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHP). (2019). Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı. Erişim: 7 Ocak 2022, <https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-planı.pdf>

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHP). (2009). Stratejik plan (2009-2013). Erişim: 7 Ocak 2022, http://www.sp.gov.tr/upload/xSPStratejikPlan/files/Ns8q8+Ulastirma_bakanligi_sp_2009-2013.pdf

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHP). (2014). Ulusal akıllı ulaşım sistemleri strateji belgesi (2014-2023) ve eki eylem planı (2016-2016). Erişim: 7 Ocak 2022, <http://www.sp.gov.tr/tr/temel-belge/s/175/Ulusal+Akilli+Ulasim+Sistemleri+Strateji+Belgesi+ 2014 2023 +ve+Eki+Eylem+Plani+ 2014-2016>

Uyanık, Y. (2015). Akıllı Şehirlerde Ulaşım Sistemleri, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

VICS. (2021). Araç bilgi ve iletişim sistemi. Erişim: 12 Ocak 2022, <https://www.vics.or.jp/en/about/>

Yan, X., H. Zhang, H., & Wu, C. (2012). Research and development of intelligent transportation systems. *Proceedings of the 11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering Science*. pp. 321-327.

Wach, E., Ward, R., & Jacimovic, R. (2013). Learning about qualitative document analysis. Institute of Development Studies. Erişim: 11 Ocak 2022, <http://www.ids.ac.uk/publication/learning-about-qualitative-documet-analysis>.

Araştırma Makalesi

Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sistem kullanımının değerlendirilmesi

Halil Kara¹, Gürcan Sarısoy², Yavuz Delice^{3*}

¹ Program of Transportation and Logistics Engineering, Department of Transportation Engineering, Institute of Graduate Studies, Yalova University, Yalova, Turkey

^{2,3} Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering, Yalova University, Yalova, Turkey

*Correspondence: yavuz.delice@yalova.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1096477

Özet: Mevcuttaki yeşil dalga uygulamalarında, sürücülerin uygulamaya olan farkındalığının kavşak girişlerindeki ya da koridorlardaki trafik levhaları ile sağlandığı görülmektedir. Bu durum yeşil dalga uygulamaları için sürücü farkındalığını daha da arttıracak sistemleri gündeme getirmektedir. Öneri kapsamında, koridor içerisinde kaldırım ya da aydınlatma direkleri gibi yol unsurlarının üzerine yerleştirilen led işaretçiler sayesinde sürücüler kılavuz ışıkları döngüsü içerisinde yeşil ışığın içinde kaldıkları takdirde kavşaklarda kırmızı ışıkta beklemeden geçiş yapabilmektedirler. Böylece klasik yeşil dalga uygulamalarına göre sürücülerin ışıklı kılavuz ile belirlenen hıza daha yüksek oranda uymaları sağlanarak kavşaklardaki bekleme sürelerinin, gecikme sürelerinin, durma sayılarının ve bunlara bağlı egzoz emisyonlarının ve yakıt sarfiyatlarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında Yalova ilinde koordineli işletilmesi planlanan üç kavşağın trafik sayımları yapılarak çözümlenmiştir. Mevcut durum Vissim mikro-simülasyon yazılımında modellenmiş ve kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Bu model üzerinde, klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulaması olmak üzere iki farklı senaryonun analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre; çalışılan koridor klasik yeşil dalga uygulamasında D hizmet seviyesindeyken, ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulamasında C hizmet seviyesine yükselmiştir. Benzer şekilde tüm koridorda ortalama gecikme değerinde %28, ortalama durma sayısında %6, emisyon ve yakıt değerlerinde %8 oranında iyileşme görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeşil dalga uygulaması, ışıklı kılavuz sistemi, sinyal koordinasyonu, sinyalizasyon sistemleri, akıllı ulaşım sistemleri

Evaluation of light guiding system usage in green wave applications

Abstract: In current green wave applications, it is seen that the awareness of the drivers for the application is provided by the traffic signs at the intersection entrances or corridors. This situation brings up systems that will increase driver awareness for green wave applications. According to the research, thanks to the led markers placed on the infrastructure elements of pavement or lighting poles in the corridor, drivers can cross intersections without waiting at the red light if they stay within the green light within the guide lights loop. Thus, it is aimed to reduce waiting times, delay times, stopping numbers, and associated exhaust emissions and fuel consumption at intersections by ensuring that drivers comply with the speed determined by the light guide at a higher rate compared to conventional green wave applications. In this context, the traffic counts of three intersections planned to be operated in Yalova province were analyzed within the scope of the study. The current situation has been modeled in Vissim micro-simulation software and calibrated. In this model, two different scenarios were analyzed, namely the conventional green wave application and the green wave application supported by a light guide system. Consequently, the corridor was at service level D in the conventional green wave application and increased to service level C in the green wave application supported by the light guide system. Similarly, in the whole corridor, an improvement of 28% in the average delay value, 6% in the average number of stops, and 8% in emission and fuel values were observed.

Keywords: Green wave application, light guide system, signal coordination, signalization systems, intelligent transportation systems

* Corresponding author.

E-mail address: yavuz.delice@yalova.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5293-9832; 0000-0002-7399-104X; 0000-0002-2646-567X

Received 31.03.2022; accepted 23.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Kentlerde nüfusun ve otomobil sahipliğinin artması; gecikmelerin, uzun kuyrukların ve trafik kazalarının artmasında etkili olmaktadır. Özellikle, büyükşehirlerde iş ve okul yolculuklarının yapıldığı zirve saatlerde kavşaklarda uzun kuyruklar oluşmakta, bu durum gecikme sürelerini artırmaktadır. Trafik tıkanıklığı genellikle aynı yolun kavşaklarda farklı doğrultulardan gelen taşıtların sıra ile kullanılması sonucu olmakta ve yolun kapasitesinin taşıt gelişlerini taşıyamaması ile ortaya çıkmaktadır (Kocadağ, 2017). Nüfusu az olan şehirlerde, ancak mevsimsel olarak taşıt sayısının değişkenlik gösterdiği yazlık bölgelerde de benzer sıkıntılar yaşanabilmektedir.

Trafikte yaşanan sıkıntıları en aza indirmek için akıllı ulaşım sistemlerini destekleyen birçok yöntem kullanılmaktadır. Trafik sinyalizasyonunda yeşil dalga uygulamasının kullanılması özellikle kent içindeki ardışık sinyalizasyon kavşaklarının artması ile önem kazanmıştır. Bu tür uygulamalarda temel hedef, seçilen ana arterlerde belli bir hızla yolculuk eden taşıtların, art arda gelen sinyalizasyon kavşaklarda, kırmızı ışığa yakalanmadan geçebilmelerini sağlamaktır. Fakat günümüzde uygulanan yeşil dalga uygulamasının sürücüler tarafından farkındalığı, kavşak girişlerindeki ve koridorlar üzerindeki trafik levhalarından ibarettir. Koridor boyunca bir bilgilendirme olmadığı için sürücüler hızları ile bu sisteme uymakta zorluk çekmekte ve genellikle uygulamadan habersizce yolculuk etmektedirler. Bunun sonucunda da yeşil dalga uygulaması istenilen verim düzeyinde işletilememektedir.

Çalışma kapsamında, kavşaklar arasında aydınlatma direkleri üzerinde tasarlanan akıllı kılavuz ışıkları ile sürücülerin yeşil dalga sistemine uygun hızla hareket etmelerinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kılavuz ışıklarının, kablosuz bir şekilde kavşaklara bağlanarak dinamik olarak çalışması düşünülmektedir. Kılavuz ışıklarının, kavşaklar arasında aydınlatma direkleri üzerine yerleştirilecek led göstergeler kullanılarak sinyal programı ile koordineli bir şekilde çalışması planlanmaktadır. Kılavuz ışıkları döngü şeklinde kırmızı ve yeşil renkte değişim sağlayarak, sürücülerin yeşil dalga sistemine uymalarını artırması açısından görsel destek niteliğindedir. Bu durumun; koridor bazında gecikme sürelerini en aza indirmesi, kuyrukları kısaltması, yakıt sarfiyatını azaltması, çevreye zararlı olan gazları optimum seviyeye indirmesi beklenmektedir. Böylece, kavşakların daha verimli kullanılması ve hizmet seviyelerinde iyileşme görülmesi sağlanacaktır. Bu öneri yapısı çalışmayı literatürdeki diğer yeşil dalga uygulamalarından ayırmaktadır. Ayrıca; ışıklı kılavuz sisteminin, yeşil dalga koridorlarının bulunduğu yol kesimlerinde elektronik denetim sistemi (EDS) gibi caydırıcı uygulamaların yerine sürücülerini teşvik edici uygulama olarak kullanılması hedeflenmektedir. Burada amaç kurallara uymayı cezalandırmak değil; kurallara uymaya da sonucun değişmeyeceğini, yani sürücünün daha hızlı gitmekle erişim süresini kısaltamayacağını fark ettirmektir.

Çalışma kapsamında, Yalova ili şehir merkezinden Yalova Üniversitesi istikametine doğru koordineli olarak işletilmesi planlanan üç kavşak belirlenmiştir. Saha verileri zirve saatlerde kavşaklardan çekilen görüntülerden elde edilmiştir. Sayımlar, mikro-simülasyon programına veri girdisi (taşıtların sayıları, taşıt kompozisyonları, dönüş oranları vb.) oluşturmak için çözümlenmiştir. Bu veriler ile mevcut durum Vissim mikro-simülasyon programı ile modellenerek, kalibre edilmiştir. Klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenen yeşil dalga uygulaması kalibre edilen bu model üzerine kurularak analizler yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

1.1. Literatür araştırması

Eşdüze kavşaklarda; sinyal süresi optimizasyonları, yeşil dalga uygulamaları ve simülasyon ortamında kavşakların modellenip çözüm önerilerinin irdelenmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, ışıklı kılavuz sistemi çerçevesinde değerlendirilebilecek çalışmalar son derece azdır. Bu çerçevede, ilgili çalışmalar kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2004 yılında Kopenhag şehrinde Nørrebrogade, Østerbrogade ve Farimagsgade caddeleri üzerinde bisiklet kullanıcıları için yol üzerine yerleştirilmiş led işaretçiler ile yeşil dalga sistemi uygulanmıştır. Bu led sistemi kırmızı ve yeşil renkte bir döngü şeklinde bisiklet kullanıcılarını bilgilendirerek yeşil dalga sistemine dahil olmalarını sağlamaktadır. Nüfusunun %36'sının işe veya okula bisikletle gittiği Kopenhag şehrinde bu yeşil dalga sistemi ortalama hızın 15,1 km/sa'ten 20,7 km/sa'e yükselmesini sağlamıştır (Url-1). Gösterilen çalışma sahada uygulanmış bir proje olup alınan faydalar açısından değerlendirildiğinde bisiklet kullanıcıları için faydalı olduğu görülmüştür. Benzer çalışmanın araç

kullanıcıları için de yapılması durumunda, trafik sıkışıklığının hafifletilmesinde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

2017 yılında ledli sinyalizasyon direklerinin sürücü davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada; Adana, Afyonkarahisar ve Ordu illerinde 830 sürücüye anket yapılmış ve 18 odak görüş çalışması düzenlenmiştir. Anket sonuçlarında katılımcıların %94'ü ledli sinyalizasyon direklerinin geleneksel sisteme göre daha önceden fark edildiğini belirtmiştir. Sürücülerin %86'sı ledli sinyalizasyon direklerinde eskisine göre daha çabuk ışığa uygun hareket edebildiğini, %85'i bu sistemle sinyalizasyonu uzaktan daha iyi fark edebildiğini söylemiştir (Şenbil vd. 2017).

2017 yılında yapılan çalışmada Vissim ile 4 adet kavşaktan oluşan bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Sürücülerin görsel bir sistem tarafından yönlendirildiği koridorda, kılavuz hızı 40 – 90 km/saat arasında belirlenmiştir. Burada taşıtların üzerine çeşitli donanımlar eklenmeden, trafiği toplu olarak düzenlemek amaçlanmıştır. Belirlenen koridorda yeşil dalga sisteminin uygulanmasıyla, yollarda belirli bir hızla ilerlemekte olan yeşil dalga kılavuzu, sürücülerini kırmızı ve yeşil ledli işaretçilerle uyarmaktadır. Sürücülerin belirlenen kılavuz hızıyla ilerlemeleri sağlanarak kavşak noktalarında oluşan taşıt yoğunluğu azaltılmak istenmektedir. Böylece kavşağa yaklaşan taşıtlar duraksamadan yollarına devam edebilmekte, dönecek taşıtlar ise mecburen biraz bekletilerek kılavuza dahil edilmektedir. Bu çalışmada hem dönüşlü hem dönüşsüz durumlar ayrı ayrı modellenerek kılavuzlu ve kılavuzsuz yeşil dalga sistemleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kılavuzlu yeşil dalga sisteminin kılavuzsuz yeşil dalga sisteminden çok daha verimli olduğu ve trafik akışını hızlandırdığı görülmüştür (Kocadağ, 2017). Yapılan çalışmada sürücülerin yeşil dalga farkındalığını arttıracak donanımsal olarak sürücülerini görsel işaretçilerle uyaran bir sistem düşünülmüş ve yeşil dalganın verimini yükselterek performans değerlerinin artırılması hedeflenmiştir.

Literatür araştırmasında yeşil dalga uygulamasının ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenmesine yönelik çalışmaların çok sınırlı kaldığı görülmüş olup, çalışma ile ilişkisi bulunan sinyal optimizasyonu ve yeşil dalga uygulamalarına yönelik çalışmalar da kronolojik sıraya göre verilmiştir.

2006 yılında İstanbul, Bahçelievler ilçesinde Adnan Kahveci Bulvarı üzerindeki beş kavşakta trafik sayımları yapılmış, sinyal optimizasyonu ve koordinasyonu yazılım programlarıyla (Synchro, Signal2000 ve SimTraffic) modellenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen üç farklı sinyal koordinasyonu senaryosu, sanal ortamda uygulanarak en verimli koordinasyon metodolojisi bulunmuştur. Sonuç olarak, belirlenen sinyal koordinasyonunun uygulanması durumunda toplam trafik gecikmesinde %60'a, yakıt tüketiminde ve karbonmonoksit emisyonunda ise %30'a varan azalmaların oluşabileceği öngörülmüştür (Avrenli, 2006). Geliştirilen sinyal koordinasyonu, trafikte gecikmelerin ve emisyonların düşürülmesinde etkili olmaktadır. Ancak bazı durumlarda, teorik olarak alınacak fayda ile gerçekteki fayda arasında fark olabilmektedir. Bu durumlarda; istenilen düzeydeki işletme sonucuna ulaşabilmek için, ek teknolojik fikirler üretilmelidir.

2011 yılında Çin'in Şangay şehrinde bulunan Huaihai yolu üzerindeki trafik sıkışıklığını azaltmak için üç kavşakta yeşil dalga uygulaması yapılmıştır. Bu kavşaklar Huaihai yolu ile JieFang, QianJin ve Yan'an yolları kesişimidir. Yeşil dalga planlanmasında Webster metodu kullanılmış, performans değerlendirmesi için mikro-simülasyon (Vissim) programından faydalanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; koordinesiz işletilen bu kavşaklarda yeşil dalga uygulaması yapılmasının ortalama gecikme değerinde %20 azalma ve ortalama hız değerinde de %19 artış sağladığı görülmüştür. Ayrıca bunlara bağlı olarak toplam seyahat süresinde de azalma olmuş ve genel koridordaki trafik sıkışıklığı azalmıştır (Zhou, 2011). Yapılan çalışmada yeşil dalga uygulaması ile alınan faydalardan bahsedilmiş olup sürücülerin yeşil dalga farkındalığını arttıracak uygulamalardan bahsedilmemiştir. Bu gibi uygulamalar yeşil dalgadan alınacak faydayı daha da arttırarak kent içi hareketliliğe katkı sağlayan ve sürücüyü bilinçlendiren uygulamaların yaygınlaştırılması açısından önemlidir.

2014 yılında Arnavutluk'un Tirana şehrinde yüksek trafik hacimli Ruruga e Kavejis arteri üzerinde sinyal koordinasyonu yapılması amaçlanmıştır. Artere ilişkin gerekli sayımlar 2014 yılında sabah, öğlen ve akşam zirve saatlerinde yapılmış olup sinyal optimizasyonu ve koordinasyon yapısı için Synchro programı kullanılmış ve mikro-simülasyon programında (Corsim) modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde sinyal koordinasyonu ile CO, NOx, VOC emisyonları ve yakıt tüketimi değerlerinin %17, toplam seyahat süresinin %19 ve toplam gecikmenin ise %29 oranında azaldığı görülmüştür

(Barhani, 2017). Yapılan çalışmada belirli bir arterde yeşil dalga ile alınabilecek faydalar özetlenmiştir. Yeşil dalga uygulamalarında istenilen sonucun büyük oranda alınması açısından sürücünün tüm koridor boyunca hız kurallarına uymasını sağlayacak teknolojilerin araştırılması da gereklidir.

2017 yılında Avusturya'nın Kapfenberg şehrini Bruck an der Mur'a bağlayan yol üzerinde koordineli olarak işletilmeyen kavşaklarda yeşil dalga uygulanmasının emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın analizinde Vissim programının yanında emisyonların daha iyi ölçülmesi için HBEFA ve CAR2 programları da kullanılmıştır. Sonuçlara göre koordineli olarak işletilmeyen kavşaklarda yeşil dalga uygulaması yapıldığında CO değerinde %40, HC değerinde %33, NOx değerinde %61, PM değerinde %52, SO2 değerinde %44 ve CO2 değerinde %44 azalma görülmüştür. Sonuç olarak emisyonların azaltılmasında yeşil dalga uygulamasının olumlu etkisi olmuştur (Kiers ve Visser, 2017). Bu olumlu etkiyi daha da arttırmak için yeşil dalga uygulamasına uyum sağlayan sürücü sayısını arttıracak sistemlerin benimsenmesi önem taşımaktadır.

2018 yılında Eskişehir'de trafik yoğunluğunun fazla olduğu Nayman ve Kırım komşu kavşakları incelenmiştir. Kavşak analizi ve modellemesi Sidra Intersection 7 adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Bu doğrultuda, iki kavşakta sinyal koordinasyonu sağlanarak mevcut duruma göre gecikme sürelerinde %42'lik bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca komşu iki kavşak arası mesafe ve kavşakların devre sürelerinin kavşaklardaki toplam gecikme üzerine etkisi araştırılmıştır. Bunun sonucunda kavşaklar arası mesafe arttıkça ya da azaldıkça kavşaklardaki gecikme sürelerinde artış gözlenmiştir (Tekin Karagöz, 2018). Gecikme değerlerinin artmasındaki önemli nedenlerden biri de yeşil dalga koridoru boyunca bir bilgilendirme olmadığı için sürücülerin belirtilen hıza yeterince uyamamasıdır. Bundan dolayı koordinasyon istenildiği gibi sağlanamadığından kavşaklardaki beklemler artmakta ve sonuç olarak gecikme süreleri yükselmektedir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla sürücülerin koridor boyunca istenilen hıza uymaya teşvik eden uygulamalar tercih edilmelidir.

2019 yılında Afganistan'ın Mezar-ı Şerif şehrinde Marmul caddesi üzerinde bulunan sinyalizasyon olmayan iki kavşakta geometrik düzenleme ve sinyal koordinasyonu ile öncesi-sonrası analizleri Vissim ve Sidra yazılımları ile yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde geometrik düzenlemeden önce birinci ve ikinci kavşak arasında koordinasyon sağlanması durumunda koridor için toplam taşıt gecikmelerinde %3'e varan düşüşler görülmüştür. Geometrik düzenlemeden sonra ise koridor için toplam taşıt gecikmelerinde %9'a varan düşüşler olmuştur (Ahadi, 2019). Çalışmada geometrik düzenleme ve sinyal koordinasyonu ile öncesi-sonrası analizi yapılarak taşıt gecikmelerindeki değişimler gözlenmiştir. Geometrik düzenlemenin ve sinyal koordinasyonunun iyileşmeler üzerinde olumlu sonuçları görülmektedir. Fakat sinyal koordinasyonu uygulamalarında sürücülerin hız limitine yeteri kadar uyamaması bu olumlu sonuçları istenilen düzeye çıkaramamaktadır. Sürücülerin koridor boyunca görsel işaretçilerle uyarılması koridor performans değerlerini arttıracak ve en önemlisi sürücü davranışlarını kurallara uyma yönünde etkileyerek bilinçli sürücü sayısının artmasına katkıda bulunacaktır.

2019 yılında Denizli ili Ulus Bulvarı üzerindeki Tiyatro ve Havuzlu Köşk sinyalizasyon kavşakları arasında koordinasyon kurularak minimum gecikmenin sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda kavşakların trafik hacim değerleri belirlenmiş, kavşakların optimum devre süreleri hesaplanmış ve ofset sürelerine bağlı olarak gecikme değerleri ölçülmüştür. Çalışmada Vissim yazılımı kullanılarak koordinasyon sağlanmıştır. Çalışma sonucunda kavşaklar arasında minimum gecikmeyi sağlayan koordinasyon yapılmış, bu sayede gecikmelerde zirve saatte %15, zirve dışı saatte ise %32 iyileşme olmuştur (Yiğit 2019). Çalışmada iki kavşak arasında koordinasyon sağlanarak minimum gecikme olması amaçlanmıştır. Ancak, bazı durumlarda koridor boyunca bilgilendirme olmadığı için sinyal koordinasyonuna sürücüler hızları ile istenilen uyumu sağlayamayabilirler. Bundan dolayı da sinyal koordinasyonundan alınacak verim düşmekte, teorikte hesaplanan gecikme değerlerine ulaşamamaktadır. Bu soruna çözüm getirmesi açısından sürücülerin sinyal koordinasyonuna uyumunu arttıracak görsel işaretçilerin üzerinde durulmalıdır.

2021 yılında yapılan bir çalışmada, yeşil dalga koridoru üzerine yerleştirilecek veri toplama noktaları, hız tespit noktaları ile kavşak kontrol cihazlarının haberleşmesi sağlanarak kavşakların faz sürelerinin trafik yoğunluğuna göre değişimi ile koridordaki diğer taşıtların bekleme süreleri azaltılmaya ve trafik güvenliği artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, SUMO yazılımı kullanılarak 10.000 araçlık bir yol

simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda, geleneksel yeşil dalga uygulamasına göre, bekleme süresinde %20 azalma, ortalama hızda %20 artma görülmüştür (Kart vd. 2021).

Çalışmalarda daha çok sinyal düzenlemeleri ve yeşil dalga uygulamaları gibi metotlarla kavşaklardaki hizmet düzeylerinin ve çevresel etkilerin azaltılması planlansa da günümüzde, artık sürücülerin sistemlere uyma farkındalığını arttıracak yöntemler ile alınacak faydaların en iyi düzeye ulaşması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, Yalova ilinde Termal Yolu caddesi koridorunda yeşil dalga uygulamasının ışıklı kılavuz ile desteklenerek uygulanması düşünülmüştür. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kılavuzlanmanın, yol üzerindeki şerit çizgileri üzerine yerleştirilen led işaretçiler (kedi gözü) ile yapıldığı görülmüştür. Fakat yol şerit çizgileri üzerindeki led işaretçiler (kedi gözü) gündüz saatlerinde sürücülerin uyarılmaları için yeterli değildir ve sürücülerin şerit değiştirirken sürüş konforunu olumsuz etkileyen taşıt lastiği ve yol kaplaması ömürlerini kısaltan bir uygulama olacağı düşünülmüştür. Bu durumlar göz önüne alınarak kılavuzların yol kaplaması üzerinde değil yol çevresinde bulunmasının daha uygun olacağı düşünülmüş, bu yüzden led ışıkların aydınlatma direkleri üzerine yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bu çalışma ile sürücülerin yeşil dalga uygulamasına olan farkındalığının daha da artacağı öngörülmektedir. Böylece mevcutta uygulanan yeşil dalga uygulamasına göre sürücülerin ışıklı kılavuz ile uyarılarak, belirlenen hızda daha yüksek oranda uymaları sağlanacak ve kavşaklardaki bekleme süreleri en aza indirilecektir. Ayrıca ışıklı kılavuz, sürücülerin hız kurallarına uyma yönünde teşvik edici ve sürücülere hızlı gitme ile erişim süresini kısaltamayacağını fark ettiren bir uygulamadır.

2. Materyal ve metot

Çalışma için hazırlanan iş akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Buna göre;

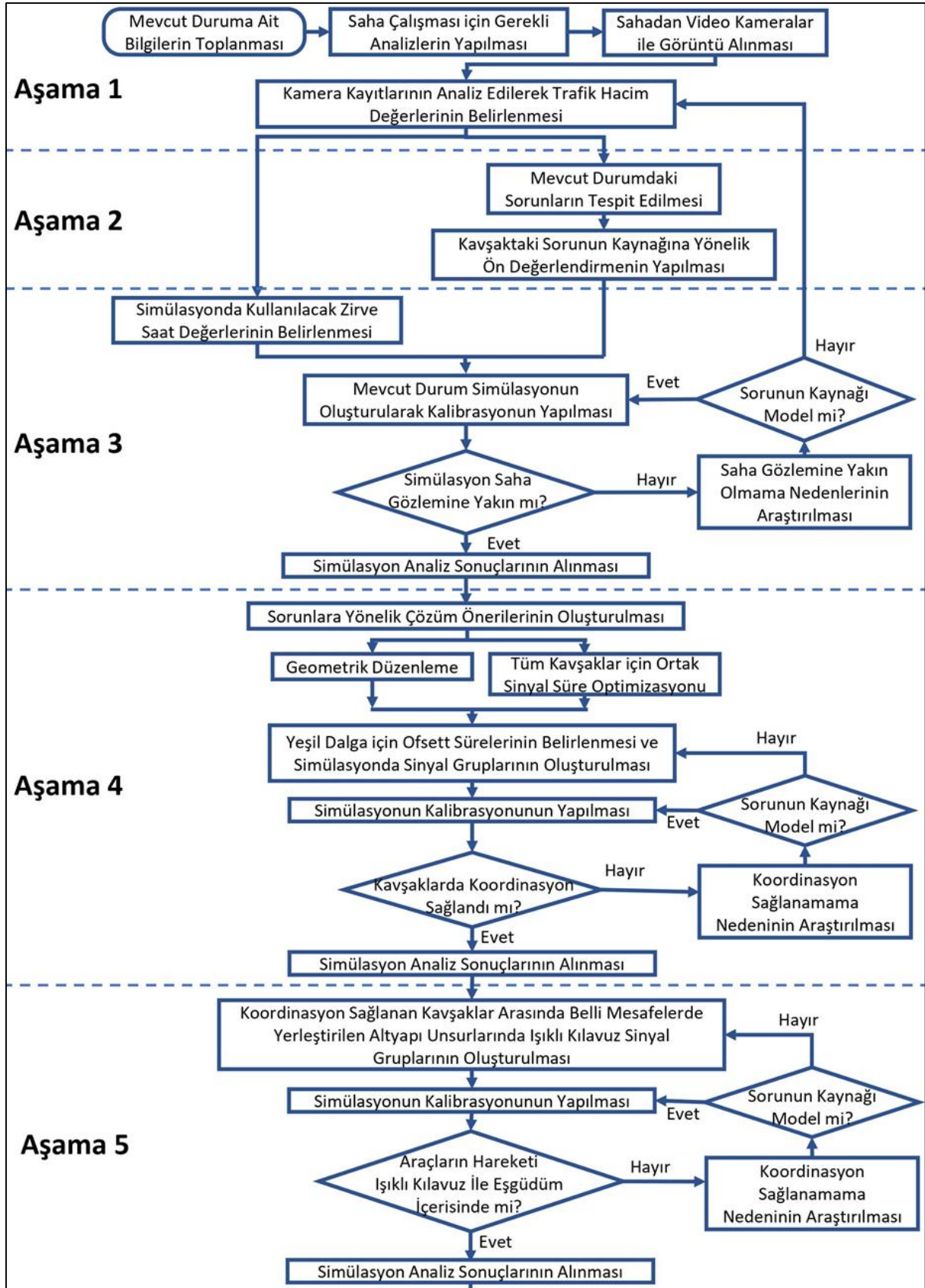
Aşama 1’de ışıklı kılavuz fikrinin sanal ortamda gerçek veriler ile modellenmesi için belirlenen gerçek koridora ait saha çalışması yapılmış olup zirve saatlerde video kayıt yöntemi ile taşıt sayımı gerçekleştirilmiştir. Mikro-simülasyon programına veri girişi için bu video kayıtları çözümlenerek taşıt hacimleri belirlenmiştir.

Aşama 2’de çözümlenmesi yapılan video kayıtlarından kavşakların mevcut durumdaki sorunlarına yönelik ön değerlendirmede bulunulmuştur.

Aşama 3’te koridordaki kavşaklara ait sinyal planları temin edilerek, mevcut veriler ile mikro-simülasyon programında (Vissim) model oluşturulmuş ve kalibrasyonu yapılmıştır.

Aşama 4’te öneri için ilk olarak imar planlarına uygun olacak şekilde geometrik düzenleme yapılmıştır. Yeşil dalga planı için sinyal optimizasyon programı (Sidra Intersection 8) kullanılarak optimum süreler elde edilmiş ve yeşil dalga sinyal planı oluşturulmuştur. Birinci senaryoda klasik yeşil dalga modeli uygulanmış olup, burada sürücülerin yeşil dalgaya uyma hareketi programda tanımlı olan ‘Wiedemann 74’ sürücü davranış modeli kullanılarak sistem tarafından stokastik bir hareket ile sağlanmıştır. ‘Wiedemann 74’ trafik akış modeli, psiko-fiziksel bir algoritmaya dayanmaktadır.

Aşama 5’te ikinci senaryoda ise sürücülerin ışıklı kılavuz ile yani görsel işaretçilerle yeşil dalgaya daha uygun hareket edeceği öngörülmüş ve sürücülerin ışıklı kılavuza göre hareket ettiği bir senaryo ile öngörülen maksimum fayda ortaya konulmuştur. Işıklı kılavuza sürücülerin ne kadarının uyacağı konusunda bir araştırma olmadığı için gerçekte alınacak faydanın birinci ve ikinci senaryodan alınan faydalar arasında olacağı düşünülmektedir.

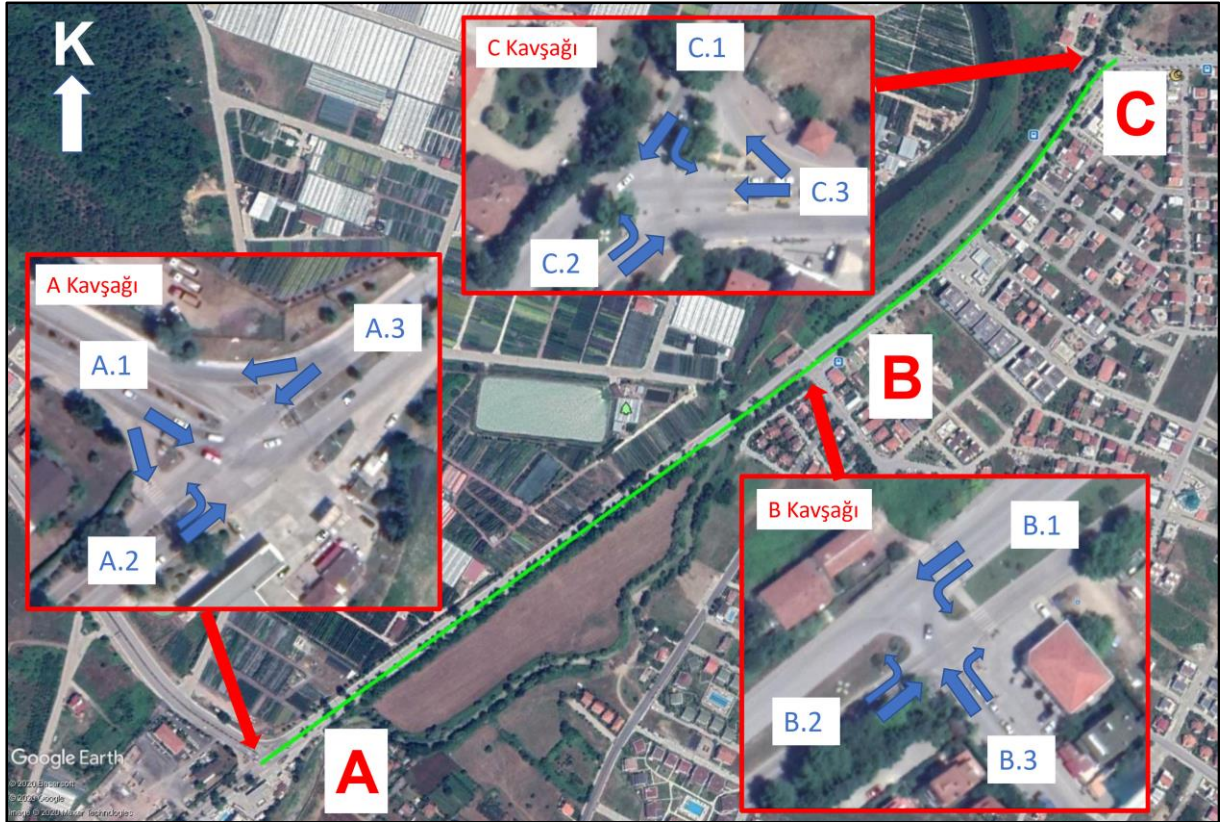


Şekil 1. Yeşil dalga uygulamalarında ışıklı kılavuz sisteminin kullanımı için öneri iş akış şeması

2.1. Çalışma alanı

Yalova ilinde önemli bir aks olan Termal Yolu caddesi, Termal ve Çınarcık gibi turizm alanları ve Üniversite kampüsü ile Yalova merkezini bağlayan önemli bir konumdadır. Çalışma için koridorun seçilme nedenleri arasında koridorun yoğun kullanılması, yeşil dalga uygulaması için yol üzeri parkların olmaması ve ara katılımların çok az olması bulunmaktadır. Tüm koridor ve üzerinde bulunan kavşaklar Şekil 2’de verilmiştir. Bu kavşaklar;

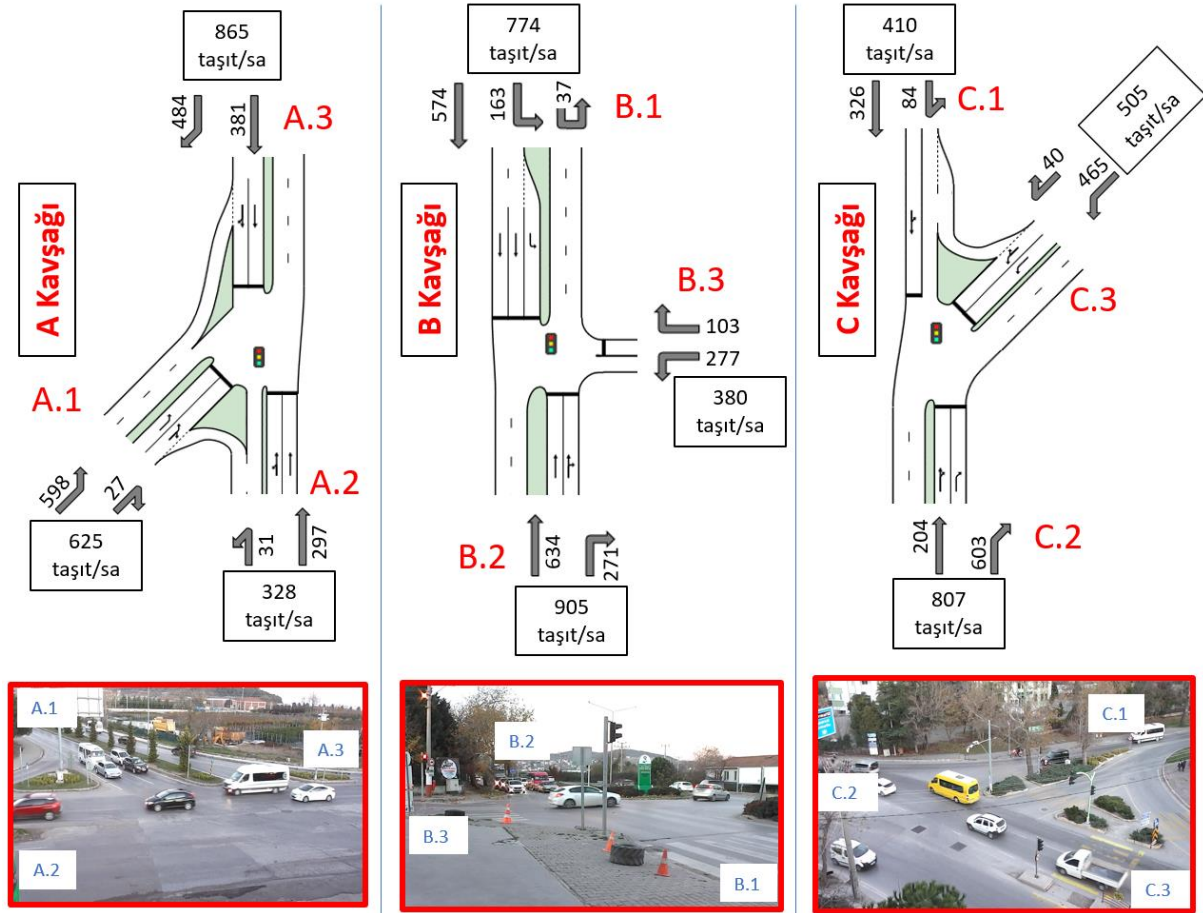
- A Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Yalova-Çınarcık yolu kesişimi
- B Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Fetih caddesi kesişimi
- C Kavşağı: Termal Yolu caddesi ile Şehit Ömer Faydalı caddesi kesişimidir



Şekil 2. Çalışma alanı uydu görüntüsü

2.2. Saha çalışması

Çalışma kapsamında belirlenen koridordaki kavşaklar üzerinde veri toplanması amacıyla taşıt sayım çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda 18.12.2019 tarihinde zirve saatlerde (07:00-09:00, 12:00-14:00, 17:00-19:00) kavşakların video kaydı alınmıştır. Kavşaklarda altı kişilik bir ekip ile çalışılmış ve video kayıtların eş zamanlı olarak alınması sağlanmıştır. Video kayıtların çözülmesi; kavşak kollarına yaklaşan taşıtların türleri ve sayıları, dönüş oranları ve ortalama hızın belirlenmesi ile tamamlanmıştır. Buna göre, kavşakta zirve saat değeri belirlenmiş ve akım yönlerine göre taşıt hacimleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Akım yönlerine göre zirve saatteki taşıt hacimleri ve kavşakların görüntüleri

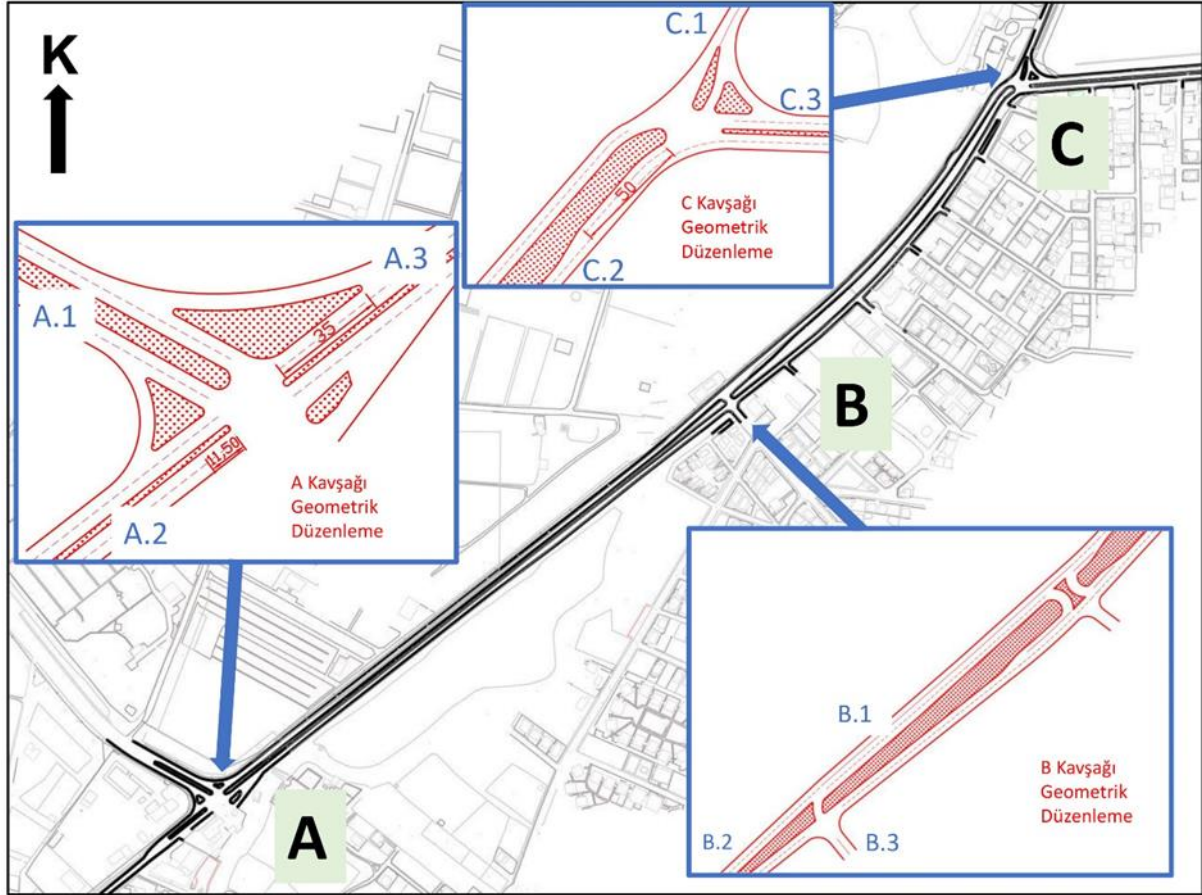
Zirve saat taşıt hacimlerinin akım kolu bazlı taşıt türleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Taşıt türlerine göre zirve saatteki taşıt hacimleri

Akım Kolu	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	B.3	C.1	C.2	C.3
Otomobil, Taksi	481	249	639	609	716	302	360	648	385
Kamyonet, Minibüs, Servis	122	69	205	147	164	70	47	134	103
Ağır Taşıt	12	3	10	6	11	5	1	11	5
Otobüs	10	7	11	12	14	3	2	14	12
Toplam (taşıt/sa)	625	328	865	774	905	380	410	807	505

2.3. Mevcut durum gözlenen sorunlar ve öneriler

Saha çalışması kapsamında sayımlar yapıldıktan sonra kavşaklarda gözlemlenen sorunlara yönelik geometrik düzenlemeler önerilmiştir. A, B ve C kavşaklarının bulunduğu ve toplam dokuz kavşak koluna sahip koridorda sağa dönüşler, U dönüşleri vb. geometrik düzenlemeler yapılmıştır. Şekil 4’te bu geometrik düzenlemelere yönelik çalışma daha detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 4. Kavşaklara ait mevcut durum ve öneri geometrik düzenlemeler

Gerekli incelemeler yapıldığında kavşak geometrileri ile ilgili şunlar önerilmiştir:

- Taşıtlar A.3 kavşak kolundan A.2 kavşak koluna gidiş istikametinde kırmızı ışıkta beklerken geriye doğru büyüyen kuyruklanma, A.3 kavşak kolundan A.1 kavşak koluna dönüş yapan taşıtlara engel olmaktadır. Bundan dolayı A.3 kavşak kolundan A.1 kavşak koluna dönüş yarıçapı 120 metreye çıkarılıp, dönüş adası büyütülmüş, böylece kırmızı ışıkta 35 metrelik kuyruklanma uzunluğu elde edilmiştir.
- A.2 kavşak kolunun orta refüjü, sinyal planında koruma süresinden süre kazanmak için A.1 kavşak kolunun aksını karşılayacak şekilde 11,5 metre kavşak içine uzatılmıştır.
- B kavşağı mevcut durumda üç fazda çalışmaktadır. Burada, B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna olan dönüşler ve B.1 kavşak kolundan B.1 kavşak koluna olan dönüşler ileriden açılan papyon şeklindeki U dönüşü ile sağlanmıştır. B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna açılan U dönüşü ile B.2 kavşak kolunun sola dönüş şeridi birleştirilerek o alandaki yol 3 şeride çıkarılmıştır. B.3 kavşak kolundan B.2 kavşak koluna dönüşler yapılan düzenleme ile kavşak dışına çekildiğinden faz sayısı ikiye düşmüş ve mevcut yeşil süreler artmıştır.
- U dönüşlerinin açılması ile B.1 kavşak kolundan B.3 kavşak koluna sola dönüş, güvenli bir dönüş için B.3 kavşak kolunun aksını karşılayacak şekilde düzenlenmiştir.
- C Kavşağında C.2 kavşak kolundan C.1 kavşak koluna mevcut sola dönüş cebi olmadığı için C.2 kavşak kolundan C.3 kavşak koluna dönüşleri tek şeride düşmektedir. Bundan dolayı C.2 kavşak kolu sağ taraftan genişletilerek 50 m uzunluğunda sola dönüş cebi oluşturulmuştur.

2.4. Simülasyonun modellenmesi

Mikro-simülasyon programları trafikte yer alan taşıtlar, yollar, duraklar, yayalar ve bunların teknik fonksiyonları ile gerçek bir trafik ortamı oluşturarak çözüm aşamasında katkılar sağlamaktadır. Bu

çalışmada da Vissim mikro-simülasyon programından faydalanılmıştır. Vissim ulaşım sistemlerinin modellenmesi ve analizi için geliştirilmiş davranış tabanlı ve ayrık zamanlı bir mikroskobik simülasyon programıdır. Karlsruhe Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen program, ulaşım ağının alt yapısını, trafik akışını ve ilgili kontrol parametrelerine yönelik verileri canlı olarak simüle edebilme özelliklerine sahiptir (Yiğit, 2019). Ayrıca program içerisindeki trafik akış modeli sayesinde sahadan alınan verilerin simülasyon ortamındaki uyumu gerçekliğe yakın olacak şekilde kalibre edilebilmektedir.

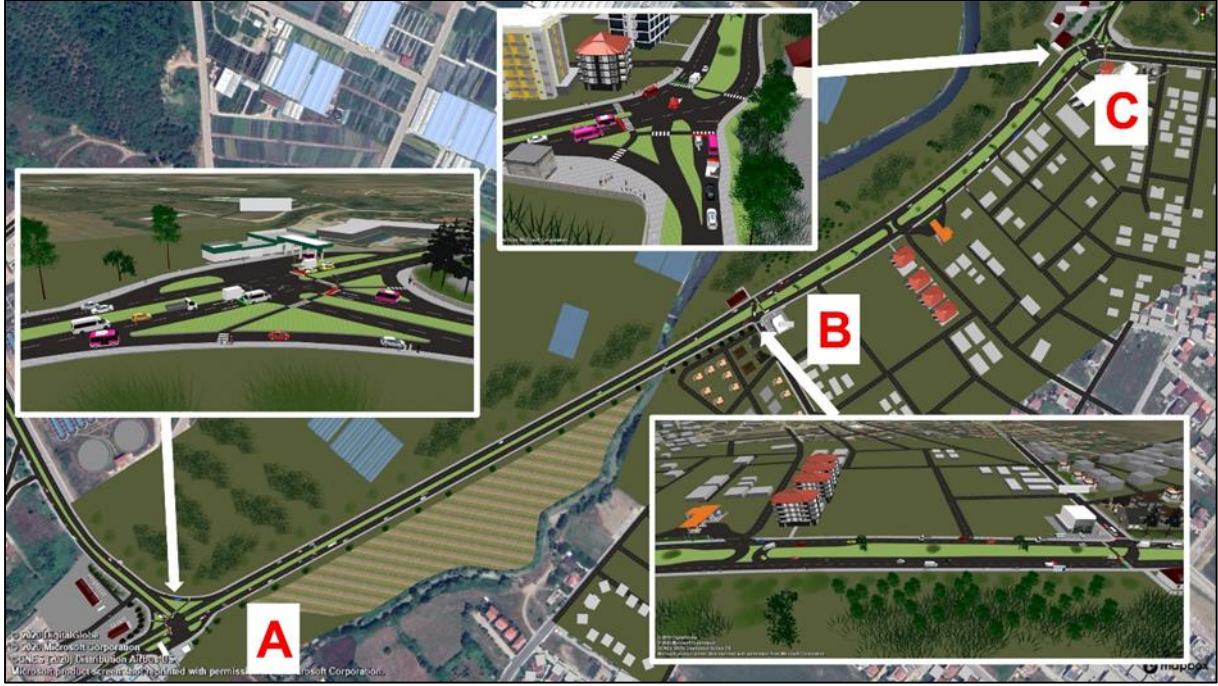
Vissim ile koridorun mikro-simülasyonu oluşturulmuştur (Şekil 5). Geometrik düzenlemeler modelde yapıldıktan sonra, programa taşıt verileri girilerek rotalar oluşturulmuş ve ek ayarlamalar ile simülasyonun doğruluğu kontrol edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için Geoffrey E. Havers istatistikinden (GEH) yararlanılmıştır. GEH, çalışma için hazırlanan simülasyon modelinin kullanılabilirliğini saptamak için yapılmakta ve gözlemlenen taşıt hacimleri ile modelde gerçekleşen taşıt hacimlerini karşılaştırmaktadır. GEH formülü Denklem 1’de verilmiştir (Jehani vd., 2015).

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(Model-Gözlem)^2}{Model+Gözlem}} \quad (1)$$

Modelin tutarlılığı için gerekli olan GEH güven aralığında ($GEH < 5$) kalınmış olup, kalibrasyon ile simülasyonun saha gözlemine yakınlığı toplam taşıt sayısı açısından %95 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Akım kollarına göre GEH değerleri ve kalibrasyon kontrolü

Kavşak No	Akım No	Yön Açıklaması	Gözlem Değeri (taşıt)	Simülasyon Değeri (taşıt)	GEH Değeri	GEH<5
A	A1	A1-A2	27	29	0,38	Evet
		A1-A3	598	610	0,49	Evet
	A2	A2-A1	31	27	0,74	Evet
		A2-A3	297	282	0,88	Evet
	A3	A3-A1	484	497	0,59	Evet
		A3-A2	381	383	0,10	Evet
B	B1	B1-B1	37	35	0,33	Evet
		B1-B2	574	568	0,25	Evet
	B2	B1-B3	163	174	0,85	Evet
		B2-B1	634	609	1,00	Evet
	B3	B2-B3	271	281	0,60	Evet
		B3-B1	103	95	0,80	Evet
C	C1	B3-B2	277	293	0,95	Evet
		C1-C2	326	342	0,88	Evet
	C2	C1-C3	84	91	0,75	Evet
		C2-C1	204	187	1,22	Evet
	C3	C2-C3	603	593	0,41	Evet
		C3-C1	40	38	0,32	Evet
		C3-C2	465	472	0,32	Evet



Şekil 5. Kavşaklara ait mikro-simülasyon görselleri

2.5. Yeşil dalga uygulaması

Sahadaki uygulamada yeşil dalga planı tek yönlü olarak tasarlanmıştır. Burada kavşak geometrileri ve kavşağa yaklaşan taşıt sayıları dikkate alınarak performans açısından en faydalı sonuca ulaşmak hedeflenmiştir. Bundan dolayı planda A.1 yönünden (Yalova Üniversitesi ve Çınarcık ilçesi tarafından) ve A.2 yönünden gelen (Termal ilçesi tarafından) taşıtların B ve C kavşaklarından geçerek Yalova Merkez yönüne ilerlemesi tek yönlü yeşil dalga planı ile sağlanmıştır (Şekil 6).

Yeşil dalga uygulaması için ofset sürelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için kavşaklar arası mesafe ve bölgedeki hız sınırı bilinmelidir. Bu çalışmada kavşaklar arası mesafe Şekil 5'te de görüldüğü gibi A ve B kavşakları arası yaklaşık 840 m, B ve C kavşakları arası yaklaşık 560 m'dir. Bölge şehir içi bir konumda olduğundan kabul edilen hız sınırı değeri 50 km/sa'dır. Ofset süresinin hesabında Denklem 2 kullanılmıştır.

$$OS = \frac{\Delta L}{v} \quad (2)$$

OS: Ofset süresi (s)

ΔL : Kavşaklar arası mesafe (m)

v: Hız (m/s)

Ofset süreleri teorikte, A ve B kavşakları arası 60 sn, B ve C kavşakları arası 40 sn olarak hesaplanmıştır. Burada belirlenen teorik sürelerin pratikte sahada test edilerek onaylanması gerekmektedir. Bundan dolayı sahadan edinilen tecrübeler, sürücülerin yavaşlama, hızlanma özellikleri de dikkate alınarak ofset sürelerinde 5 sn'lik bir azaltma yapılmıştır. Sahada uygulanacak yeni ofset süreleri A ve B kavşakları arası 55 sn, B ve C kavşakları arası 35 sn olarak belirlenmiştir. Belirlenen koridora ait yeşil dalga uygulamasına ait bilgiler ve yeşil süreler Şekil 6'da görülmektedir.

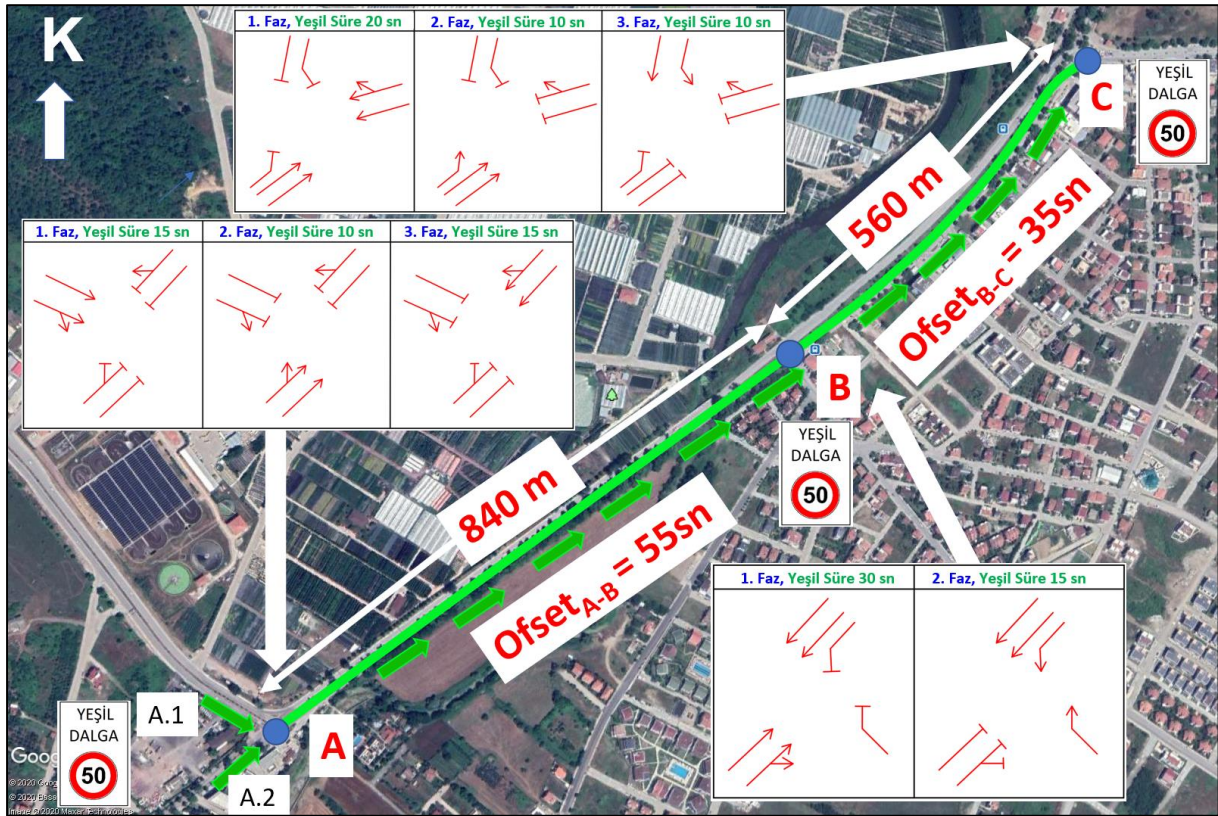
Çalışma gerçek sahada yapıldığı için mevcutta her bir kavşak aslında tekil olarak çalışmaktadır. Bu çalışma kapsamında zirve saat taşıt hacimleri, sinyal süre optimizasyon programına girilerek Avustralya metoduna göre her kavşağın süreleri tekil olarak optimize edilmiştir. Her kavşağa ait optimizasyon sonuçları incelendiğinde, mevcutta uygulanan kavşak sinyal sürelerinin gereğinden fazla uzun olduğu, trafiği olumsuz yönde etkilediği ve olması gereken sinyal sürelerinin ise mevcut sürelerin çok altında kaldığı görülmüştür. Buna göre, yeşil dalga ofset süresi ve optimizasyon sonuçları dikkate alındığında

koordinasyonun optimum olarak sağlanabilmesi için her bir kavşağın devre süresi 55 sn olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca bu durumun performans değerlendirmesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Tablo 3. Mevcut ve öneri devre süreleri

	A Kavşağı	B Kavşağı	C Kavşağı
Mevcut Durum Devre Süreleri (s)	84	98	110
Öneri Devre Süreleri (s)	55	55	55

Stokastik bir hareket ile sağlanan klasik yeşil dalga uygulamasında Wiedemann sürücü davranış modeli, 1974'te Wiedemann tarafından geliştirilen psikolojik ve fiziksel sürücü davranışlarını içeren her bir sürücü ve taşıtı karakterize eden özelliklere sahiptir. Bu özellikler taşıtın teknik özellikleri, sürücü-taşıt ünitelerinin davranışı ve karşılıklı etkileşimi olarak açıklanmaktadır (PTV Group, 2018).



Şekil 6. Tek yönlü yeşil dalga uygulaması detaylı gösterim

2.6. Işıklı kılavuz sistemi

Yeşil dalga uygulamalarında tüm taşıtlar yeşil dalga için hız sınırına uyduğunda taşıtlar arasında bir kümelenme ile hareket söz konusudur. Fakat bazı sürücüler bu hız sınırına uymadığı için bu kümelenme bozulmakta ve bu durum diğer sürücülerin yeşil dalgaya uymasını olumsuz etkilemektedir. Mikro-simülasyonda trafik akış modeli, sürücü-taşıt birimlerini temel elemanlar olarak tanıyan olasılıksal ve süre kademesine dayanan mikroskobik bir modeldir. Bu model içerisinde temel olarak sürücünün dört farklı seyir durumu olduğu varsayımı kabul edilmiştir. Bunlar; serbest sürüş, yaklaşma, takip ve frenlemedir. Bu seyir durumlarının ana fikri; birbirini takip eden taşıtlardan daha hızlı olanının, algılama eşiği içinde bir taşıtın olmaması durumunda serbest sürüş hızını koruması; önündeki daha yavaş seyreden bir taşıtın algılama eşiği içine girdiği andan itibaren de hızını azaltmaya başlaması şeklinde özetlenebilmektedir. Buna göre taşıt hızının azalma süreci, önündeki taşıtın hızına yaklaşıncaya

kadar devam etmektedir. Öndeki taşıtın algılama mesafesinden çıkması halinde ise, hız tekrar artmaya başlamaktadır. Sonuçta taşıt davranışı hızlanma ve yavaşlamaların bu şekilde birbirini takip ettiği bir iteratif yaklaşımla belirlenmektedir (Kobal 2011).

Serbest sürüşte sürücü belirlenen hıza ulaşmaya ve o hızı korumaya çalışmaktadır. Belirlenen bir hızda bir taşıtın maksimum hızlanması, maksimum ve minimum hız aralığında gerçekleşmektedir. Buradaki maksimum-minimum aralıklar, Wiedemann 74 yöntemi kapsamında gerçek taşıtlar üzerinde yapılan ölçümler ve araştırmalar neticesinde fonksiyonlar ile programda tanımlanmıştır. Mikro-simülasyon programı, belirlenen hız dağılımı (Desired Speed Distribution) ile taşıt kompozisyonları, yaya kompozisyonları, düşük hız bölgeleri, belirlenen hız sınırları, toplu taşıma hatları ve park alanları için kullanıcının tanımlanmasına da imkân sağlamaktadır (PTV Group, 2013).

Türkiye’de sürücülerle yapılan bir araştırmaya göre sürücülerin %94 ‘ü ledli sinyalizasyon direklerinin sürücülerin önceden dikkatini çekerek ışığı fark edip algılamalarını kolaylaştırdığı, %86’sı ışığa uygun davranma davranışını artıracak görüşünü belirtmişlerdir (Şenbil vd., 2017). Bu bilgilerle yeşil dalga ışıklı kılavuz ile desteklendiğinde sürücüler kavşaklar arasında çok sayıda noktada bilgilendirildiği için yeşil dalga hızına daha uygun hareket edeceği öngörülmüştür. Işıklı kılavuz ile ilgili sürücüler ile bir araştırma ve anket çalışması olmadığı ve saha uygulaması da olmadığı için çalışmada 50 km/sa hızın üst limitinde (58 km/sa), %5 oranında daralmaya (3 km/sa) gidilmiştir. Bu değişim sürücülerin ışığa uygun hareket edeceği (Şenbil vd., 2017) ve görsel işaretlerin sürücülere hızlarını artırmalarının kendilerine fayda sağlamadığını yargısına dayanmaktadır. Ancak bu sistemin uygulamadaki faydasının tam olarak anlaşılabilmesi, sürücüler ile ışıklı kılavuz hakkında yapılacak anketler (belirlenen hıza uyma düzeylerin tam olarak saptanması) ile sağlanmalıdır.

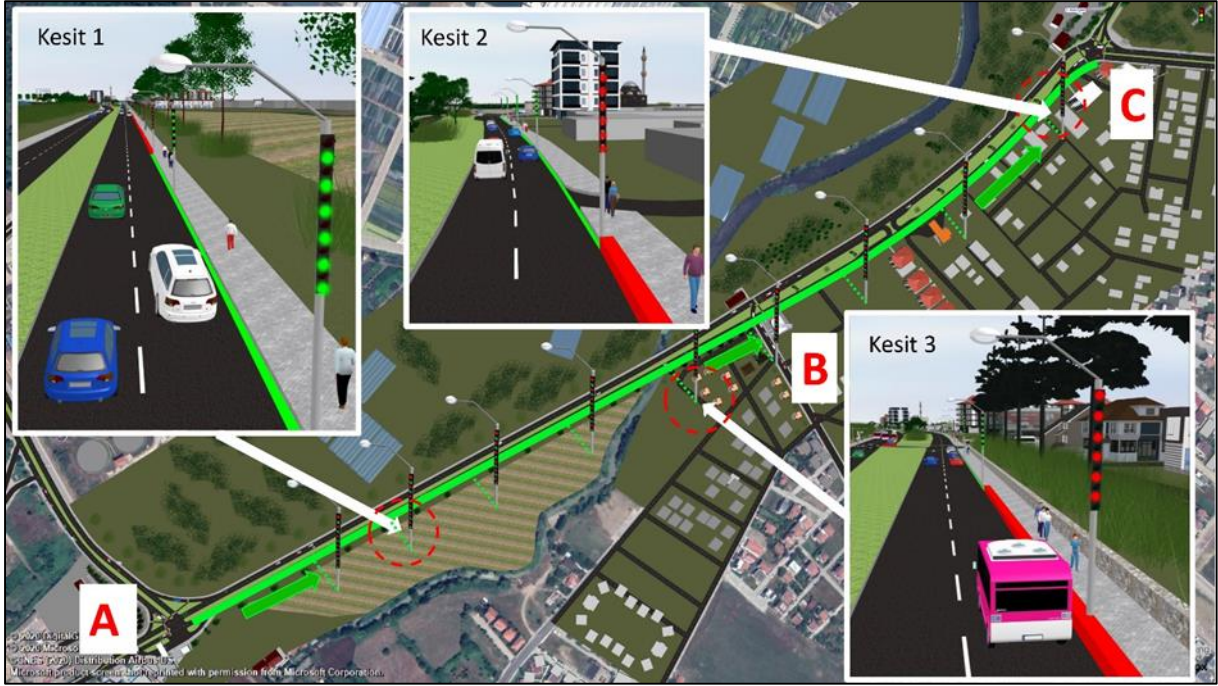
Işıklı kılavuz sinyal planlaması yeşil dalga sinyal planına uyacak şekilde dinamik bir yapı şeklinde modellenmiştir. Bu dinamik yapı oluşturulurken kılavuz ışıklarının kırmızı ve yeşil olarak yanma sıralaması ve süreleri kavşaklar arasındaki ofset süresi ve aydınlatma direği sayısına bağlıdır. Bu kriterler göz önünde bulundurularak ışıklı kılavuz planlaması yapılmış ve simülasyon üzerinde test edilip doğruluğuna karar verilmiştir. Mevcut durumda her 35 metrede bulunan aydınlatma direkleri üzerine yapılması planlanan ışıklı kılavuz için mikro-simülasyonda 38 adet aydınlatma direği kullanılmıştır. Burada aydınlatma direkleri üzerine sinyalizasyon aydınlatmasında kullanılan lambalardan daha ucuz ve az enerji tüketen yeni nesil led lambalar kullanılacaktır. Fakat mikro-simülasyon programında yeni nesil ledli sinyalizasyon modeli olmadığı için ışıklı kılavuz, sinyal grubu başlıkları ile modellenmiştir (Şekil 7). Yapılan saha çalışmaları sonucunda önerilen çalışma pilot bir bölgede yapılarak daha detaylı olarak irdelenmesi gereken bir yapıda olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışma bu yönde yapılacak ileri araştırmalara zemin hazırlamaktadır.

Otomobillerin otonom yapıya giderek yaklaşması ve yol altyapısı ile taşıt arasındaki iletişim kanallarının (V2I: Taşıttan Altyapıya) her geçen gün artması gibi sebeplerle bu çalışmanın ilerleyen zamanlarda daha da gelişmesi beklenmektedir. Ancak bu teknolojiler gelişene kadar sürücülerin farkındalığını arttıracak hibrit çözümlere de ihtiyaç duyulacaktır.

Yeşil dalganın ışıklı kılavuz sistemi ile desteklenmesinde sürücü koridor içerisinde üç farklı durumla karşılaşabilir (Şekil 7). Bunlar;

- Kesit 1 (Kırmızı döngünün sürücünün önünde olması): Kırmızı döngü sürücünün önünde olduğu için sürücü yeşil döngünün içinde kalarak yeşil dalgaya kolayca uyum sağlayacaktır ve hızını arttırmayacaktır.
- Kesit 2 (Kırmızı döngünün sürücünün arkasında olması): Kırmızı döngü arkada kaldığı zaman sürücü yeşil döngünün içinde kaldığı için hızını sabit tutarak devam edecektir. Eğer yavaşlarsa da yeşil döngünün dışında kalacağı farkında olacaktır.
- Kesit 3 (Sürücünün kırmızı döngü içerisinde kalması): Kırmızı döngünün içerisinde kalan taşıtlar çoğunlukla işletme hızı düşük olan minibüslerdir. Bu taşıtların kırmızı döngü içinde kalma olasılıkları

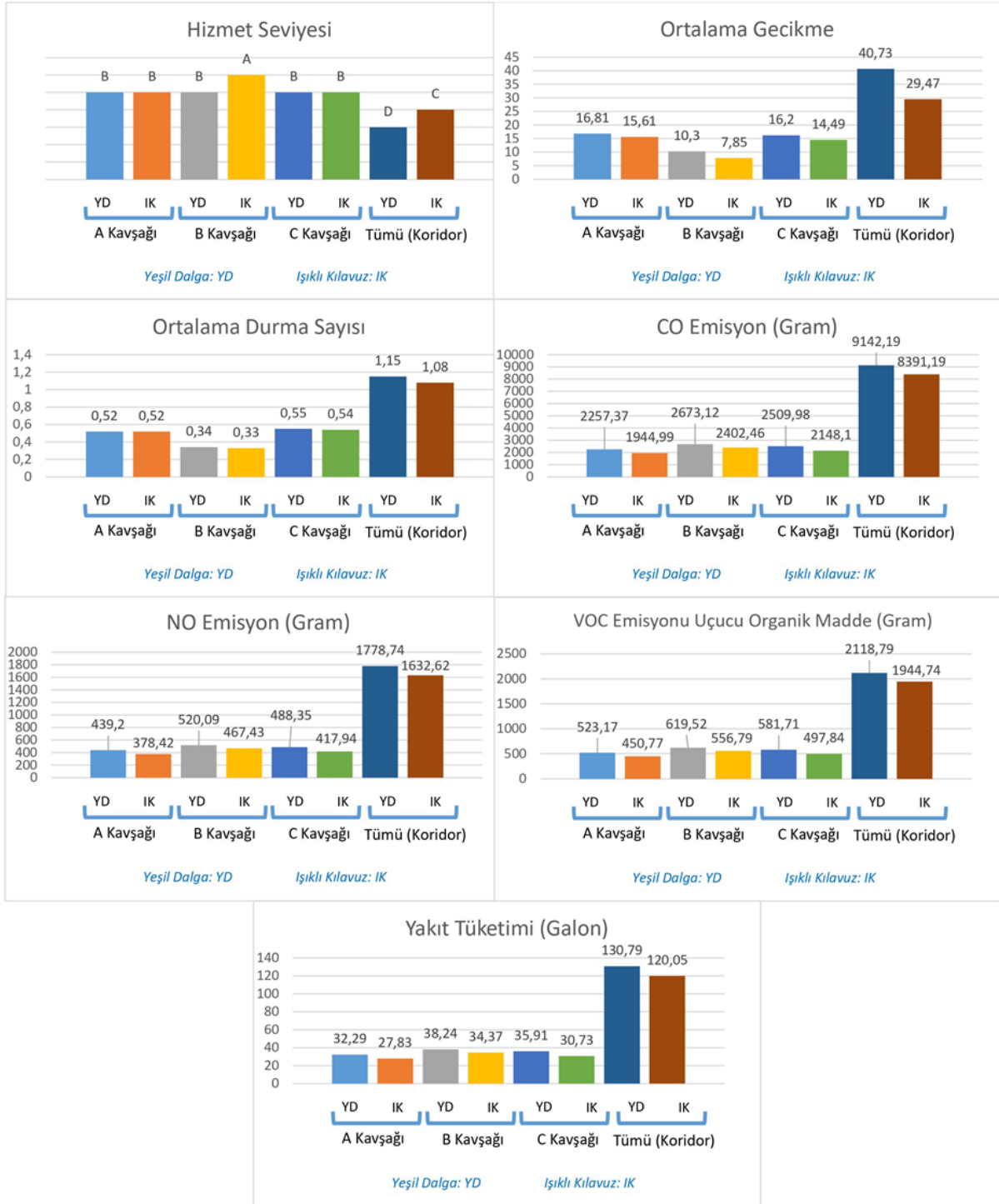
yüksektir. Bireysel taşıt kullanıcıları, kırmızı döngü içerisinde kaldığı zaman belirtilen hız sınırı içerisinde yeşil döngüye geçebilecektir. Fakat sürücülerin bu hareketlerinin trafik güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde olması istenmektedir. Bu yüzden gerekli denetimlerin yapılması ve bu konu özelinde ek araştırmalar yapılması gerekmektedir.



Şekil 7. Işıklı kılavuz mikro-simülasyon modellemesi

3. Bulgular

Performans ölçümü için koridor Vissim mikro-simülasyon programı ile analiz edilerek değerlendirme alınmıştır. Bu değerlendirmede, klasik yeşil dalga ile yeşil dalganın ışıklı kılavuz ile desteklenmesi durumları karşılaştırılmıştır. Değerlendirmede kullanılan; hizmet seviyesi, ortalama gecikme (sn), ortalama durma sayısı, CO emisyon (gram), NO emisyon (gram), VOC emisyonu uçucu organik madde (gram) ve yakıt tüketimi (galon) parametreleri dikkate alınmıştır. Yapılan analizler bir saatlik simülasyon sonuçlarıdır. Buna göre genel olarak koridor bazında, yeşil dalganın ışıklı kılavuz ile desteklenmesi, klasik yeşil dalgaya göre ortalama gecikme değerlerini yaklaşık %28 oranında azaltmış ve hizmet seviyesini de D seviyesinden C seviyesine yükseltmiştir. Belirtilen parametrelere yönelik analiz sonuçları daha detaylı olarak Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. Mikro-simülasyon değerlendirme sonuçları

Şekil 8’de görüldüğü üzere her bir kavşaktaki ve koridordaki ortalama gecikme değerlerinde azalma görülmüş ve buna bağlı olarak B kavşağı ve genel koridorda da hizmet seviyelerinde iyileşme olmuştur. Ancak A ve C kavşağındaki gecikmelerdeki iyileşme, hizmet düzeylerinin bir üst sınıfa geçmesinde etkili olmamıştır. Ortalama durma sayısı değerlerinde, B ve C kavşağı ile tüm koridorda iyileşme olmasına karşın A kavşağında belirgin bir değişim olmamıştır. Doğaya salınan CO, NO ve VOC emisyonları birbiri ile doğru orantılı olarak salınan emisyonlardır. Bu değerlerde tüm kavşaklarda önemli derecede azalma olması ile genel koridorda da %8’lik bir azalma olmuştur. Yakıt değerleri de tüm kavşaklarda azalma göstermiş ve tüm koridorda %8’lik bir azalma elde edilmiştir.

4. Tartışma ve sonuç

Günümüzde simülasyon programları ile çalışmalar görselleştirilerek gerçeğe yakın analizler yapılabilmektedir. Bu çalışmada da Wiedemann 74 sürücü davranış modeline dayanan Vissim mikro-simülasyon programından faydalanılmış olup, modeller klasik yeşil dalga uygulaması ve ışıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalga uygulaması şeklindedir. Işıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalga uygulaması ile amaç; yeşil dalganın farkındalığını arttırarak, performans değerlerinde en iyi faydayı almak ve kavşaklarda görülen kazaların önüne geçip can ve mal kaybını önlemektir. Ayrıca diğer bir amaç; sürücülere yeşil dalga koridorlarında hız kurallarına uymayı cezai işlem yaparak sağlamak değil, sürücülerin hız kurallarına uymasını teşvik etmek ve bunun farkındalığını arttırmaktır. Kısaca kurallara uymayan sürücülerini cezalandırmak yerine, sürücülerin hızlı giderek varış süresini kısaltamayacağını fark ettirmektedir.

Hizmet düzeyi açısından değerlendirildiğinde, kavşaklarda ortalama gecikme sürelerinin azaldığı görülmüş ve buna bağlı olarak B kavşağı ve koridor üzerinde hizmet düzeyleri iyileşmiştir. A ve C kavşağında hizmet seviyesinin yükselmemesi; burada iyileşme olmadığı anlamına gelmemelidir, çünkü gecikme değerlerinde azalma görülmüştür. Ortalama durma sayısı değerlerinde de kavşaklarda ve koridorlarda azalmalar görülmekte ve bu da hareketliliği artırması yönünden önemli olup, kavşaklardaki kapasite yönetimini de olumlu etkilemektedir.

Egzoz emisyonlarının çevreye ve doğaya verilen zararı açısından değerlendirildiğinde, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre ulaşım sektörü, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en fazla sera gazı saldıran sektördür (Özen ve Tüdeş Yaman 2013). Ülkemiz bu duruma kayıtsız kalmayıp Kyoto protokolünü 2009 yılında imzalamış ve buna göre sera gazı arttırıldığında para ödeme ve azaltıldığında ise para kazanılmaktadır. Yapılan bir saatlik analiz sonuçları neticesinde emisyon değerlerinde önemli ölçüde azalmalar görülmektedir. Bu sonuçlar yıllık bazda değerlendirildiğinde, çevreye ve doğaya verilen zararın önüne geçilmesinin yanı sıra ülke ekonomisine de yapılan katkıdan dolayı önem taşımaktadır.

Yakıt tüketimi değerlerine bakıldığında kavşaklarda durma sayılarının ve gecikme sürelerinin azalması, yakıt tüketimine de olumlu olarak yansımıştır. Bu olumlu sonuçlar hem bireysel taşıt kullanıcısının tasarruf etmesini sağlayacak hem de ülke ekonomisine olan katkıyı arttıracaktır.

Çalışma belli bir koridoru kapsamakla birlikte, ilerleyen aşamalarda, kavşak kontrol cihazlarının bir sunucu ile haberleşmesi ve taşıtların hızları, sinyal durumları vb. verilerin de navigasyon uygulamaları ile paylaşılması sayesinde, sürücünün daha kolay yönlendirilmesi sağlanabilir. Bu şekilde hem sürücü daha az dur-kalk yapmış olacak hem de navigasyon altyapısının daha kararlı sonuçlar sunmasına katkı sağlanacaktır. Benzer şekilde ilerleyen dönemlerde, yol altyapısı ile otonom taşıtların haberleşmesi (V2I: Taşıttan Altyapıya) ve bu verinin de yine otonom taşıtlar arasında paylaşılması (V2V: Taşıttan Taşıta), kent içi hareketliliğe katkıda bulunacaktır. Ancak bu sistemler tam olarak uygulamaya geçene kadar, hibrit çözümler ile sürücülerin trafikteki davranışları iyileştirilmelidir.

Sonraki çalışmalara yol gösterici olmak adına, ışıklı kılavuz ile desteklenen yeşil dalgada, sürücülerin yüzde kaçının bu uygulamaya uyacağı ve koridor içerisinde, örneğin; kırmızı döngünün içinde kalındığında sürücünün ne tür davranış sergileyeceğinin araştırılması ve bununla ilgili bir sürücü davranış modelinin geliştirilmesi, bu uygulamadan daha sağlıklı sonuçlar alınması açısından önemli konulardan biridir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

2019-2020 eğitim öğretim yılında, Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği bölümünde lisans bitirme tezi olarak yapılan ‘Yeşil Dalga ile İşletilen Kavşaklarda Işıklı Kılavuz Uygulama Projesi’ bu makalenin içeriğini oluşturmaktadır. Bu kapsamda her iki çalışma aşamasında PTV Group tarafından sağlanan Vissim programı kullanılmıştır (Vissim mikro-simülasyon programının lisansı, 18.11.2019 – 18.11.2020 tarihleri arasında sağlanmıştır). Bundan dolayı, bu çalışmaya katkıda buldukları için PTV Group’a teşekkür ederiz.

Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'nden ilgili kavşaklara ait hali hazır haritalar ve sinyal planları temin edilmiştir. Çalışmaya verdikleri destekler için Yalova Belediyesi, Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Kaynakça

Ahadi, S., (2019). Vissim Yazılımı Kullanarak Mezar-ı Şerif (Afganistan) Örnek Çalışması İçerikli Kavşak Gecikme Analizleri. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 160s.*

Avrenli, K. A., (2006). Arterial Signal Coordination and Optimization: A Case Study in Istanbul. *Master's Thesis, Boğaziçi University Institute for Graduate Studies, Istanbul, 158s.*

Barhani, E., (2017). Signal Coordination of Oversaturated High Volume Arteries: A Case Study of Outer Ring in Tirana. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6, 1, 152-160.

Çelik, Y. and Karadeniz, A., (2018). Urban Traffic Optimization with Real Time Intelligence Intersection Traffic Light System. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6, 3, 214-219.

Çetinkaya, G., (2008). Işıklı Kavşaklarda Değişik Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 80s.*

Dağüstü, H. Ş., (2010). Trafik Yönetiminde Kavşak Trafiğinin Kontrolü için Bir Sinyal Zamanlama Modeli. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 137s.*

Jehani, M., James, P., Saka, Anthony A. and Ardeshiri, A., (2015). Traffic Recovery Time Estimation Under Different Flow Regimes in Traffic Simulation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2,5, 291-300.

Kart, Ö., Genç, O. Ç. & Basciftci, F., (2021). Speed Compatible Green Wave Corridor with The Internet of Things. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Special Issue 2021 (ICAENS)*, 411-416.

Kiers, M. and Visser, C., (2017). The Effect of a green wave on traffic emissions. *11. FH-Forschungsforum "Research – Innovation – Value" Conference, Krems, Austria.*

Kobal, B., (2011). Boğaziçi Köprüsü Üzerindeki Trafik Sıkışıklığının Hız Yönetimi Yöntemiyle Azaltılması, *Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 101s.*

Kocadağ, N. Y., (2017). Trafikte Kılavuzlu Yeşil Dalga. *Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 101s.*

Murat, Y. Ş., (1996). Denizli Şehiriçi Kavşaklarındaki Trafik Akımlarının Bilgisayarla İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 170s.*

Özen, M., ve Tüdeş-Yaman, H., (2013). Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafiği CO2 Emisyonlarının Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17, 3, 56-64.

PTV Group, (2018). Vissim 10 User Manuel, Karlsruhe, Germany.

Şenbil, M., Yasak, Y., Çubuk, M., K., Arıkan Öztürk, E. ve Hatipoğlu, S., (2017). Ledli Sinyalizasyon Direklerinin Yol Kullanıcıları Üzerindeki Etkisinin Araştırılması Çalışması, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şehir ve Bölge Planlaması Bölümü, Trafik Planlaması ve Uygulaması Ana Bilim Dalı, Ankara, 58s.

Tekin Karagöz, G., (2018). Kent İçi Sinyalize Eşdüzey Kavşaklarda Sinyalizasyon Sisteminin Modellenmesi ile Trafik Akışının İyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 80s.*

Utomo, E., Ramadhan, F. and Imran, A., (2020). Vissim simulation-based analysis for improving traffic conditions in Bandung Indonesia. *International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology, 21, 3, 5.1-5.6.*

Üçer, F., (2000). Balıkesir İlindeki Önemli Kavşakların Kapasite Yönünden Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 282s.*

Yiğit, H. İ., (2019). Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği, Denizli. *Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale, 89s.*

Zhou, J., (2011). Traffic Signal Coordination Control of City Arterial Road that Based on Graphic Method. *2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, Heilongjiang, China.*

Url-1 <<https://www.centreforpublicimpact.org/case-study/green-waves-bicycles-copenhagen>>, erişim tarihi 01.10.2021.

Research Article

Aviation-caused CO₂ emissions reduction efficiency in EU-28 under CORSIA compliance

Gizem Kaya^{1,*}, Mehmet Özgür Kayalıcı²

¹ Department of Management Engineering, Faculty of Management, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

² Energy Institute and TEGAM, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

*Correspondence: kayagizem@itu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1164739

Abstract: The CORSIA is an emission reduction program which is implemented by ICAO for the global air-line industry. The program aims to contribute to the implemented measures to reduce CO₂ emissions from the international aviation network. In this regard, we aim to find out the significant factors that affect the levels of CO₂ emissions in aviation and the most efficient countries in reducing them. Firstly, we examine 28-member countries of the EU (European Union) by using the panel data based stochastic frontier analysis and Malmquist productivity indices. The results show that the determinants affecting the emissions caused by aviation statistically significant for the period 2008-2017: Energy consumption per flight; millions of passenger-kilometers, freight and mail million tonne-kilometer; the number of commercial aircraft fleets by age groups; the number of countries' airports; and globalization index of the related country. Moreover, efficiency scores which are obtained by stochastic frontier analysis and Malmquist productivity index differ among the countries. Eastern European countries are observed to be superior in terms of technical efficiency. However, there is no significant increasing or decreasing trend in technical efficiency for EU 28 countries. This result is an indication that CORSIA's emission reduction expectations will not be realized quickly, especially when considering the extensive use of aviation in the globalized countries.

Keywords: CORSIA, CO₂ emissions, aviation, efficiency

CORSIA uyumluluğu kapsamında AB-28'de havacılık kaynaklı CO₂ emisyonlarını azaltma verimliliği

Özet: CORSIA, ICAO tarafından küresel havayolu endüstrisi için uygulanan bir emisyon azaltma programıdır. Program, uluslararası hava taşımacılığı açısından kaynaklanan CO₂ emisyonunu azaltmak için uygulanan önleyici faaliyetlere katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda çalışmamız hava taşımacılığındaki CO₂ emisyon düzeylerini etkileyen önemli faktörleri ve emisyonun azaltılmasında en etkin olan ülkeleri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. İlk olarak, panel veri tabanlı stokastik sınır analizi ve Malmquist verimlilik endeksi yaklaşımlarını kullanarak AB üyesi olan 28 ülkenin analizi yapılmaktadır. Sonuçlar, havacılık kaynaklı emisyonların belirleyicilerinin 2008-2017 dönemi için; uçuş başına enerji tüketimi; taşınan milyon yolcu/kilometre, taşınan milyon ton yük ve posta ton/kilometre; yaş gruplarına göre ticari uçak filosu sayısı; ülkelerin havaalanlarının sayısı; ve ilgili ülkenin küreselleşme endeksi olduğunu göstermiştir. Ayrıca stokastik sınır analizi ve Malmquist verimlilik endeksi ile elde edilen etkinlik puanları ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Doğu Avrupa ülkelerinin teknik verimlilik açısından daha üstün olduğu görülmektedir. Ancak, AB 28 ülkeleri için teknik verimlilikte önemli bir artış veya azalış eğilimi yoktur. Bu sonuç, özellikle küreselleşmiş ülkelerde havacılığın yaygın kullanımı düşünüldüğünde CORSIA'nın emisyon azaltım beklentilerinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilemeyeceğinin bir göstergesi olabilir.

Anahtar Kelimeler: CORSIA, CO₂ emisyonları, hava ulaşımı, etkinlik

* Corresponding author.

E-mail address: kayagizem@itu.edu.tr

ORCID: : 0000-0002-6870-7219; 0000-0001-9828-7385

Received 20.08.2022; accepted 20.10.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Introduction

The relation between energy and climate change is undoubtedly one of the most crucial topics debated both globally and nationally. There lie the energy efficiency and energy-saving issues at the heart of it, not that because energy is a huge burden as a private cost on businesses alone, but also because it has been generating a chaotic by-product and social cost called climate change, a negative externality that even future generations will be paying. While entering the renewable era challenges the climate change drift, it is not solely sufficient to stop or mitigate it on its own. Managing how to optimize the utilization of energy as a complementary instrument would save energy by generating efficient use. To struggle against global warming and environmental problems, EU member states are requested to set their energy savings by 9 % between 2008 and 2016 and to target their energy efficiency at 20 % until 2020 by following the “Energy Efficiency Action Plan” (EC, 2013). In addition, according to the directive in 2018 (EU, 2020), it has a view that it should be reduced by 32.5 % by 2030.

Tracking Transport Report (2019) of IEA (International Energy Agency) claims that transportation is still responsible for one-fourth of direct CO₂ emissions. Global transport emissions increased by only 0.6 % in 2018 –much less than the average 1.6 % of the last decade- due to efficiency improvements, electrification, and biofuels. While road vehicles account for nearly three-quarters of this, emissions from shipping and aviation continue to rise. This paper focuses on the latter.

According to the European Commission, “Someone flying from London to New York and back generates roughly the same level of emissions as the average person in the EU does by heating their home for a whole year” (EC, 2020). The share of aviation in the total transport sector greenhouse emissions is around 4 to 6 %, and the air transportation is responsible for approximately 2 to 4 % off all the anthropogenic carbon emissions in 2010 (Wise et al., 2017). Another report notes that the aviation sector has a 2.6 % share in global carbon dioxide emissions and about 3.5 % of total anthropogenic carbon emissions (Staples et al., 2018; ICAO, 2016). IPCC (1999) indicates that the CO₂ emissions generated by aviation are responsible for about 2.5 % of global greenhouse gas emissions, but the share is expected to rise to 10 %. The demand for the aviation sector is growing gradually, and the number of commercial aircraft is expected to double by 2035 (Hassan et al., 2018). The common argument in the studies, as mentioned above, is that the relative share of the aviation sector in the global carbon dioxide emissions will grow in the not too distant future. Contrarily, there are also promising attempts in the air. The world’s first fully-electric commercial aircraft has taken its test flight, taking off from the Canadian city of Vancouver and flying for 15 minutes (Guardian, 2020).

The CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), adopted in October 2016, is an emission reduction approach for the global airline industry developed by the International Civil Aviation Organization (ICAO). Aircraft operators who operate international flights in all ICAO Member States are obliged to monitor, report and verify CO₂ emissions from their flights from 2019, regardless of their participation in the CORSIA program. Apart from this, they are also required to comply with Offset Requirements every three years (starting from 2021) by the CORSIA. The implementation of the CORSIA Program consists of 4 stages: Basic period: 2019-2020, Pilot stage: 2021-2023 (voluntary), First stage: 2024-2026 (voluntary), and Second stage: 2027-2035. Given the emission reality, the International Air Transport Association (IATA) sets a goal to reduce CO₂ emissions of 50 % by 2050 (IATA, 2017). It aims to ensure that any rise in international aviation emissions above the 2020 level is offset elsewhere (Aircarbon, 2020). On the other hand, the energy efficiency obligation scheme, which is linked to Directive 2012/27/EU, requires each member state to implement an energy efficiency obligation scheme to decrease a substantial amount of energy consumption over the 2014-2020 obligation period (ENSPOL, 2015).

The literature shows that the studies about the emissions in the aviation sector are generally conducted by using the data of the airline companies (e.g., Arjomandi et al., 2018; Brueckner and Abreu, 2017; Wilkerson et al., 2010). However, if the targets of the EU countries are analyzed, more accurate results seem to be obtained by examining the CO₂ emissions caused by both domestic and international aviation industry based on countries, rather than airline companies, especially with regard to CORSIA. Besides, conducting an efficiency analysis will show the role model and guide the targets of countries. This, we believe, is one of the critical contributions of the present study.

This work aims to determine the sources of aviation-caused CO₂ emissions in EU member countries. We attempt to find solutions to the following two problems. First, we find relatively efficient countries. Second, we explore the criteria that are necessary for countries to mitigate CO₂ emissions.

The flow of the paper is as follows. The next section provides the literature review on the issue under study. Section 3 defines the methodology in detail, along with the presentation of some statistics and figures. In Section 4, we present the results of our investigation and then proceed with the discussions of the results in Section 5. Finally, in the last section, we conclude.

2. Literature review

To the best of our knowledge, the literature on aviation emissions and efficiency has mostly focused on airline firms rather than the countries regarding aviation that led to CO₂ emissions. For instance, Meleo et al. (2016) estimate the impact of the cost of the European Union Emission Trading Scheme (EU-ETS) on the Italian aviation sector. The results show that there is still a limited effect of the scheme on the airline companies and society. Wilkerson et al. (2010) analyze the emission of global commercial airlines by using the data between 2004 and 2006. They conclude that although the flight variable consists of 85% short-haul flights, they produce only 39.7 % of CO₂ emissions.

Li et al. (2016) evaluate the airline efficiency concerning the EU-ETS on three grounds: Operations Stage, Services Stage, and Sales Stage. To analyze the efficiency of 22 international airlines between 2008 and 2012, they established two models: Network Slack – Based Measure with weak disposability and Network Slack – Based Measure with strong disposability. Their model uses Green Gas Emissions as an undesirable output. They find that the average efficiency of European airlines is much higher than that of non-European airlines. Pan et al. (2014) introduce three mitigation methods and compare these methods with others to solve the aviation CO₂ emissions problem. They also analyze the feasibility of these three methods by using the historical data of the aviation sector and the AHP method. Based on the results of their evaluation, they propose a dynamic mitigating method to reduce aviation emission. Besides these articles, in Table 1, we list some studies investigating CO₂ emission or greenhouse gasses in the airline sector by indicating their methods and variables. Our study is different from these studies in a way that, while they use airline companies as an observation unit, we use countries. This is important because CORSIA is not based and focused on airlines companies. Countries are also responsible for the emission-causing flight in their own airspace. Therefore, the success of countries, that is, their effectiveness in reducing CO₂, should be examined.

Some studies aim to examine the effects of the energy obligations scheme of the European Union. For example, to understand the public perception towards emission policy options (such as fiscal policies – e.g., tax, etc.- on individuals using aviation services), In Kantanbacher et al. (2018), in which 2066 British adults were questioned, found out that public prefers the fiscal burden to be incurred by the aviation industry rather than policies levied on an individual level. Zhou et al. (2016) also carry out a scenario analysis that shows that the jet fuel substitute, fuel intensity, and traffic demand -being the most important one- emerged as the critical factors of China's civil aviation CO₂ emissions. The results pointed out the need for the implementation of more policies, including a carbon tax on jet fuel and R&D support to promote fuel efficiency. Gonzalez and Hosoda (2016), on the other hand, investigated the effect of the aircraft CO₂ emission and aviation fuel tax on the environment by using Bayesian structural monthly time series for Japan for the period 2004-2013. They concluded that the fuel tax leads to a reduction in the amount of CO₂ emissions. Also, FitzGerald and Tol (2007) set up a simulation model of international tourist flows to estimate the effect of CO₂ emissions caused by the fuels of aviation in the ETS. They claim that the number of tourists in Europe will fall by up to 0.6 % when ETS permits are given, whereas the number in the rest of the world will increase. Hence, they indicate that permits may have almost no effect on reducing CO₂ emission and might have a negative impact on the economy.

Table 1. A series of studies on greenhouse gasses in the airline sector

Author	Scope	Model	Dependent Variables or Outputs	Independent Variables or Inputs
Scotti and Volta (2015)	18 Global Airlines	Biennial Malmquist–Luenberger productivity index	RPK, Total freight tonne-kilometers (TFTK), CO ₂ (Undesirable Output)	ASK, ATK
Cui et al. (2016)	18 Global Airlines	Dynamic Environmental DEA	Total Revenue, Greenhouse Gas Emission	Number of Employees, Aviation Kerosene,
Li et al. (2016)	22 Global Airlines	Network Slacks-Based Measure	Total Business Income, Greenhouse Gasses Emission, ATK (Intermediate Products), RTK (Intermediate Products), Available Seat Kilometers (ASK) (Intermediate Products), Revenue Passenger Kilometers (RPK) (Intermediate Products)	Number of Employees, Aviation Kerosene, Fleet Size, Sales Cost
Brueckner and Abreu (2017)	16 US Airlines	Regression	Total Fuel Usage	Available Tonne Miles (ATM), Average Seat Capacity, Average Stage Length, Average Load Factor (Average LF), Average Vintage of Aircrafts, Percentage of Flight Delay, Average Annual Fuel Price
Liu et al. (2017)	12 Chinese Airlines	Global Malmquist carbon emission performance index (GMCPI) Bootstrapping GMCPI	Revenue Tonne Kilometers (RTK), CO ₂ (Undesirable Outputs)	Capital, Labor
Li and Cui (2017)	29 Global Airlines	Network Range Adjusted Environmental DEA	ASK, RPK, Total Revenue Greenhouse Gasses Emissions, ASK (Intermediate Products), RPK (Intermediate Products),	Operating Expense, ASK, Fleet Size, RPK, Sales Costs

Table 1. A series of studies on greenhouse gasses in the airline sector (cont'd)

Author	Scope	Model	Dependent Variables or Outputs	Independent Variables or Inputs
Zhang et al. (2017)	7 Chinese Airlines and 10 US Airlines	Slacks-based measurement (SBM) Malmquist-Luenberger index Tobit Regression Model	RTK, Operating Revenue, CO ₂	Aircraft, Labor, Fuel
Chen et al. (2017)	12 Chinese Airlines	Stochastic Network DEA (SNDEA)	Cargo, Number of Passengers Number of Landings and Take-offs (Intermediate Products), Delays (Undesirable Outputs), CO ₂ (Undesirable Outputs),	Fuel, Number of Planes, Number of Employees
Li and Cui (2018)	28 Global Airlines	DEA cross pollution abatement costs (PAC)	Total Revenue Greenhouse Gasses Emissions	Number of Employees, Fleet Size, Energy (Aviation Kerosene),
Arjomandi et al. (2018)	7 European and 22 Asian Airlines	Meta – Frontier DEA	Available Tonne Kilometers (ATK), CO ₂ (Undesirable Output)	Number of Employees, Capital

Besides these, some studies have tried to identify the variables which might have a tied in emissions or efficiency. Rizet et al. (2012), for instance, analyze the relationship between vehicle load, CO₂ emissions, and energy efficiency and observe that an increase in the load factor leads directly to an increase in the road efficiency. Andreoni and Galmarini (2012) performed a decomposition analysis to find the main reasons behind CO₂ emissions of European transportation for the period 2001-2008. The results suggest that economic growth is the main reason for the increasing CO₂ emissions caused by both water and aviation transport activities in EU-27. Dynamic demand management is also seen as an alternative tool for reducing aviation CO₂ emissions. To assess this, Molloy et al. (2012) establish a regression model that will help determine the European air travel demand elasticities. Service frequencies were found to be more efficient in reducing aviation-related CO₂ emissions. An increase in the level of service frequency can cause a reduction in passenger demand, though this may negatively affect the economy.

According to energy obligations schemes amongst European countries, ambitious targets are set to reduce energy densities and to achieve energy efficiency policies. One of the essential instruments of energy efficiency policies is the “White Certificates System”, which has been implemented in some European countries so far. Based on this system, obliged participants have to achieve energy efficiency targets. Market participants who do not fulfil these obligations either get a penalty or receive a White Certificate (Düzgün, 2014). A white certificate could be a tradable resource which proofs that a certain rate of energy-saving funds has been accomplished relative to a standard. To the best of our knowledge, France and Italy comply with these obligations for the transportation sector. Since January 1st, 2012, the EU-ETS has also included aviation emissions. Also, in 2016, ICAO (International Civil Aviation Organization) agreed on the CORSIA, which intends to arrange CO₂ emission levels by requiring airlines to offset the growth of their emission levels following 2020. Airlines are already asked to show emission values on all routes since January 2019, and they are free to take some actions to balance emissions by buying appropriate amounts of emissions from other sectors (e.g., renewable energy). All countries in the EU will join the scheme from the start (EC, 2020).

As it stands, the emission studies originating from the aviation sector have approached the issue through airline companies. However, when the EC targets are examined in terms of EU countries, we expect that we will reach more accurate results. For this purpose, we will analyze some factors that reduce the emissions in the aviation sector in terms of CORSIA and examine the efficiencies of successful EU-28 countries. The efficiency analysis will guide the targets of countries through effective factors in aviation. In doing so, the study expects to make important contributions to the field.

3. Methodology

In this study, we use two methodologies. These are panel data based stochastic frontier analysis and Malmquist productivity index to provide robustness check between efficiency scores. Since our data set is a balanced panel data set that includes both time and cross-sections; and since there is only one dependent variable (CO₂ emissions in aviation) but more than one factor that can affect CO₂ emissions in aviation in the data set, it is convenient to apply panel data models. Thus, firstly we estimate the stochastic frontier analysis as a parametric method to select variables which have a significant effect on CO₂ emissions in aviation and obtain efficiency scores. Then, we apply Data Envelopment Analysis (DEA) as a nonparametric method to calculate the efficiencies of countries in reducing CO₂ emissions in aviation by using the statistically significant variables which are obtained in the stochastic frontier analysis. Last but not least, we use the Malmquist productivity index, which is based on DEA. The reason is two-fold. The first one is because we want to examine the temporal changes in the activities of countries. The second one is to compare these changes in factors affecting the reduction of CO₂ emission efficiency. This is because of having time and cross-section dimensions in our data set. Finally, we aim to compare the results of these methods with each other.

3.1. Stochastic frontier analysis

Stochastic Frontier Analysis (SFA) is a parametric method used in measuring relative efficiency scores. It divides the error term in the function into random error and ineffectiveness. Thanks to ineffectiveness term, the relative technical efficiency scores of decision-making units are obtained. The method uses a cost function as a boundary so that firms can be compared and inefficiency can be measured using the

existing data set. Following Sarafidis (2002), the mathematical representation of the function is as follow:

$$C_i = f(y_i, \beta) + w_i; \quad w_i = v_i + u_i \quad (1)$$

In Equation 1, the cost limit function is shown as $f(y_i, \beta)$ and w_i is represented by the sum of the term representing technical inefficiency (u) and the random error term (v) of the regression. Since there cannot be an inefficiency term lower than the cost limit, the inefficiency error term cannot have a negative value, while the random error term can take both negative and positive values (Kumbhakar and Lovell, 2000).

If one wants to calculate the technical efficiency value for any DMU in the data set, equation 2 should be used:

$$TE_i = C_i / f(x_i, \beta) \quad (2)$$

If the decision-making unit is producing at the maximum possible output amount, that is, at the border, $TE = 1$, otherwise the technical efficiency score will be less than “1” (Chakraborty et al. 1999).

SFA presents statistically significant variables on the dependent variable, unlike the data envelopment analysis and Malmquist productivity index. The representation of the model in the panel data is as follow in equation 3 (Kumbhakar and Lovell, 2000).

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{jit} + v_{it} - u_{it} \quad (3)$$

where

$$u_{it} = \exp(-\eta(t - T_i))u_i \quad (4)$$

Here y shows the dependent variable, i shows cross-sectional units, t shows time. β_0 is constant, β_j is the vector of slope parameters. x_j represents the independent variables. T_i is the last period in the i th panel, η is the decay parameter, $u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ denotes the truncated-normal distribution, $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ denotes normal distribution, and u_i and v_{it} are distributed independently of each other and the covariates in the model. (Kumbhakar and Lovell, 2000).

3.2. Data envelopment analysis (DEA) and Malmquist productivity index

We use the DEA (data envelopment analysis), which is a nonparametric method, because of being part of the Malmquist productivity index. DEA is easily measurable with the relative efficiency of the decision units measured by the inputs and outputs measured at multiple and different scales. By measuring the efficiency of each of the decision units examined with DEA, the decision-making unit with the lowest efficiency is determined, and data are obtained about the extent to which their efficiencies can be increased.

The DEA method can be used for both input-oriented and output-oriented. For the most efficient input composition, DEA models for input can be used to produce a specific output composition. The DEA models for output studies how much output composition can be achieved with a particular input composition (Kula et al. (2009).

The DEA model is introduced in 1978 by Charnes et al. The model can find how to measure the efficiency in Linear Programming (LP) model. Each input and outputs have their weights, and DEA does the formulation of choice of the weights. There are two kinds of CCR (Charnes, Cooper, Rhodes) models which are input-oriented and output-oriented. In the CCR model, the Constant Return to Scale (CRS) approach is used (Charnes et al., 1978).

Another DEA model, called BCC (Banker, Charnes, and Cooper) that is introduced by Banker et al. (1984) uses Variable Return to Scale (VRS) approach, which points out that increasing 1 unit of input does not lead to 1 unit of output increase. However, in the CRS approach, increasing 1 unit of input leads to 1 unit of increase in output. In case, there are n number of DMUs (Decision Making Unit), ($DMU_j: j = 1, 2, \dots, n$) which require m number of inputs ($x_i: i = 1, 2, \dots, m$) to produce s number of outputs ($y_r: r = 1, 2, \dots, s$), the output-oriented (BCC-O) model evaluates the efficiency of DMU_0 .

By solving the linear program, as shown below:

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} - v_k \\
 \text{s. t. } & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} - v_k \\
 & v_k, \text{ free} \\
 & v_i \geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & u_r \geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s
 \end{aligned} \tag{5}$$

In Equation 5, x represents the inputs with v_i weights, and y represents the outputs with u_r weights of the j th DMU, and all inputs and outputs are nonnegative. Also, ε is non-Archimedean little value for forestalling weights to be equal to zero (Toloo et al., 2009). With this formulation, DEA finds the relative efficiency of the DMUs, but, the method only distinguishes efficient and inefficient DMU's.

In DEA, the technical efficiency values of the decision units are calculated for each period. It consists of pure technical efficiency and scale efficiency and is obtained by multiplying these two indices. The pure technical efficiency and efficiency of the scale indicate the success of the company in producing the appropriate scale (Kula et al., 2009).

Caves et al. (1982) developed a DEA-based technique to measure the TFP index. The Malmquist total factor productivity (TFP) index measures the change in total factor productivity between two data points by calculating the ratio of the differences of each data point according to the current technology. It can be decomposed into changes in efficiency and technology. The distance function is used for this measurement (Kula et al., 2009). The distance function based on output can be shown with S possible set of y to be generated by x as follows: $D_0^S(x, y)$. If the vector of y is above the S (production limit), D equals to "1"; if the vector of y defines a non-active point in S , then D will be bigger than "1"; and if y identifies a point that is not possible outside S , then D is smaller than "1". Malmquist TFP change index based on output between t period and subsequent $t + 1$ period can be calculated as follows:

$$M_0(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \text{sqrt} \left((D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^t(x^t, y^t)) * (D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^{t+1}(x^t, y^t)) \right) \tag{6}$$

In equation 6, $D_0^t(x, y)$ denotes the technological change from period t to period $t + 1$. When the value of M_0 function is higher than "1", there is a growth in TFP from t period to $t + 1$ period. When it is less than "1", there is a decrease in TFP considering the same periods. This equation can also be expressed as follows:

$$M_0(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = (D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^t(x^t, y^t)) * \text{sqrt} \left((D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})) * (D_0^t(x^t, y^t) / D_0^{t+1}(x^t, y^t)) \right) \tag{7}$$

In the above equation, the ratio outside the square root is the measure of the change of technical efficiency between period t and period $t + 1$. The expression in the square root describes the change in technology. Here, the change in the technical efficiency gives an assessment of the approaching process of the decision units to the effective boundary, while the change in the technology changes the active boundary over time (Kula et al., 2009).

Using the above methodologies, we will find the factors affecting aviation-led CO₂ emissions as well as the countries that are efficient in reducing CO₂ emissions based on CORSIA criteria by using the data for EU-28 countries, which are drawn from Eurostat air transport statistic database for the 2008-2017* period.

* Data for EU-28 countries are available after 2008. That is, after Romania and Bulgaria joined the EU in 2007.

4. Data

Our panel data set, consisting of 10-year aviation statistics of EU-28 countries, is balanced. In our models, the inverse value of the amount of CO₂ Emissions in aviation (Millions tonne) is used as output since the main goal is the reduction in CO₂ Emissions (see Lewis and Sexton, 2004). Before establishing the regression model, we examine the correlation matrix and find that the energy in aviation (millions of tonnes of oil equivalent) is highly correlated with other independent variables. Dividing the energy variable by the total number of flights, we reduce the VIF and block the multicollinearity. We also use “millions of passenger-kilometers”, “freight and mail million tonne-kilometer”, “total commercial aircraft fleet by ages” (less than 5 years, 5-9 years, 10-14 years, and 15-19 years), “the total number of airports” most of which are also used in the literature (see, Table 1), and “globalization index” (which is proposed by Dreher, 2006) as inputs or explanatory variables. The Globalization Index is an index representing the degree of globalization of 122 countries which covers political, social and economic globalization components. Through globalization, industries achieve productivity. The rapid development of the aviation industry is driven by this growth, as more people fly and more goods are transported (Henningsen, 2010). Considering the link between aviation and globalization, it is an important factor in aviation-related modelling. Moreover, the fact that the fleets owned by the airlines, which use the country as a base, are young enables the use of energy-efficient fuels. Therefore, the fleet age is also an important variable (Merkert and Hensher, 2011; Grote et al., 2014).

These variables are also selected after applying the Stepwise[†] method. The variance inflation factor (VIF) of the last model is obtained as lower than 10. We also take the logarithm of variables to prevent heteroscedasticity problem. The detailed descriptive statistics of variables are shown in Table 2 for the 280 (from 28 * 10) observations. It is observed that the standard deviations of all statistics are found higher than the mean values of variables. That is, the variabilities of the factors are quite high.

Table 2. Descriptive statistics

Variables	Mean	Std. Dev.	Min	Max
CO ₂ in Aviation (Millions tonne)	5.5	8.9	0.1	37.5
Energy in Aviation (Millions of tonnes of oil equivalent)	1.8	3.0	0.0	12.8
Millions of passenger-kilometers	27004.9	36541.0	175.0	189534.0
Freight and mail Million tonne-kilometer	520.1	619.8	1.0	3375.0
Total Commercial aircraft fleet Less than 5 years	62.4	89.9	0.0	451.0
Total Commercial aircraft fleet 5-9 years	60.6	80.8	0.0	375.0
Total Commercial aircraft fleet 10-14 years	41.9	58.4	0.0	258.0
Total Commercial aircraft fleet 15-19 years	31.6	44.8	0.0	253.0
Total Number of Airports	14.6	16.5	1.0	66.0
Globalization Index	83.6	4.3	72.4	91.3

We estimate panel-based stochastic frontier analysis which is shown in equation 8 by using Stata 14 software.

$$\ln(1/\text{CO}_2 \text{ in Aviation})_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Energy in Aviation per Flight})_{it} + \beta_2 \ln(\text{Millions of passenger-kilometers})_{it} + \beta_3 \ln(\text{Freight and mail Million tonne-kilometer}) + \beta_4 \ln(\text{Total Commercial aircraft fleet Less than 5 years}) + \beta_5 \ln(\text{Total Commercial aircraft fleet 5-9 years}) + \beta_6 \ln(\text{Total Commercial aircraft fleet 10-14 years}) + \beta_7 \ln(\text{Total Commercial aircraft fleet 15-19 years}) + \beta_8 \ln(\text{Total Number of Airports}) + \beta_9 \ln(\text{Globalization Index}) + v_{it} - u_{it} \quad (8)$$

[†] Other variables that are eliminated by Stepwise (such as total aircraft fleet by type; total aircraft fleet by type of number of seats; total flight of freight and mail board, load; total flight of passenger or cargo flight; GDP constant (2010); total air traffic by type of aircraft (passenger, cargo etc.); total number of passengers arrived, total number of passenger departure; population of the country) But we could not find any statistically significant effect.

5. Results

In table 3, we present the results of the panel-based stochastic frontier analysis. Regarding the inverse value of the dependent variable; Energy in Aviation Per Flight, Millions of passenger-kilometers, Freight and mail Million tonne-kilometer, Total Commercial aircraft fleet by ages, Globalization Index and Total Number of Airports are found to have a positive and significant effect on CO₂ emission in aviation. In the model, *sigma2* shows the variance of the error term (w_i), while *lnsigma2* shows its natural logarithm. The variance of the random error term (v_i) is represented by *sigma_v2* and the variance of the technical inefficiency error term (u_i) is represented by *sigma_u2*. Gamma coefficient shows *sigma_u2* / *sigma2*. The greater this value, the more of the variance in the error term is explained by the inefficiency term. *Lgtgamma* shows the logit value of the *gamma* coefficient. *Eta* (η) gives information about whether efficiency/inefficiency changes over time (Barros, 2005). In our model, the fact that the *Eta* (η) coefficient is insignificant shows that the efficiencies or inefficiencies of the countries in reducing CO₂ does not change over the years.

Table 3. Results of panel based stochastic frontier analysis

	Number of obs	=	280		
	Number of groups	=	28		
	Obs per group:				
	min	=	10		
	avg	=	10		
	max	=	10		
	Wald chi2(9)	=	218.24		
	Prob > chi2	=	0.00		
	Log likelihood	=	161.97		
	Coefficient	Standard Error	z	P>z	
Ln(Energy in Aviation Per Flight)	-0.54	0.08	-7.12	0.00	
Ln(Millions of passenger-kilometers)	-0.24	0.07	-3.32	0.00	
Ln(Freight and mail Million tonne-kilometer)	-0.14	0.06	-2.62	0.01	
Ln(Total Commercial aircraft fleet Less than 5 years)	-0.06	0.01	-3.98	0.00	
Ln(Total Commercial aircraft fleet 5-9 years)	-0.01	0.01	-0.45	0.65	
Ln(Total Commercial aircraft fleet 10-14 years)	-0.05	0.01	-3.39	0.00	
Ln(Total Commercial aircraft fleet 15-19 years)	-0.07	0.01	-6.53	0.00	
Ln(Globalization Index)	-1.55	0.58	-2.67	0.01	
Ln(Total Number of Airports)	-0.16	0.04	-4.02	0.00	
Constant	5.05	2.86	1.77	0.08	
/mu	1.65	0.21	7.73	0.00	
/eta	0.00	0.00	0.25	0.81	
/lnsigma2	-0.43	0.36	-1.20	0.23	
/lgtgamma	4.18	0.38	10.89	0.00	
sigma2	0.65	0.23			
gamma	0.98	0.01			
sigma_u2	0.64	0.23			
sigma_v2	0.01	0.00			

The operating income per unit production of money, labor and energy of airlines is increased by more passengers per flight (Caves et al., 1983). As millions of passenger-kilometers and freight and mail million tonne-kilometer increase, the number of flights is expected to increase. This in turn will lead to higher CO₂ emissions. On the other hand, air travel consumes large quantities of energy and releases

greenhouse gasses into the atmosphere (Becken, 2002). Since one of the most important variables in causing CO₂ emission in aviation is energy, the increase in the amount of energy consumed per flight is expected result in higher CO₂ emission. Moreover, younger aircraft are expected to be more fuel-efficient than older aircraft. They also contribute less to air pollution and the production of carbon (Zhang et al.,2017). Considering that older aircraft have inefficient fuel consumption, it is expected to increase CO₂ emissions. When the number of fleets owned by countries in the model is examined by age, it is seen that the number of fleets of all ages (even if they are young) contributes positively to CO₂ emissions. In this case, it can be said that as of 2017, in Europe, even the aircraft that are less than 5 years old are not using energy-efficient fuel sufficiently. On the other hand, since the increase in the number of airports will increase the number of runways, it will provide more air traffic. Finally, among the more globalized countries, CO₂ emissions are expected to increase as the number of both commercial and passenger flow is foreseen to be higher (see Henningsen, 2010). The results in our model support all the aforementioned arguments.

Table 4. Efficiency scores from stochastic frontier analysis

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Austria	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Belgium	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Bulgaria	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
Cyprus	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10
Czechia	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Germany	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Denmark	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Estonia	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Greece	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Spain	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Finland	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
France	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Croatia	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Hungary	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Ireland	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Italy	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Lithuania	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48	0.48
Luxembourg	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Latvia	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
Malta	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Netherlands	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Poland	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Portugal	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Romania	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Sweden	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Slovenia	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Slovakia	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
United Kingdom	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

Technical efficiency scores obtained from the panel based stochastic frontier analysis are presented in Table 4. This table indicates the following results: 1) When viewed from the temporal perspective, the average efficiency of reducing CO₂ emission from aviation in Europe is 0.25. This ratio does not differ from year to year as indicated by the *Eta* coefficient. In general, no increase in efficiency has been found in terms of reducing CO₂ emissions in the European region. The results indicate that there is no significant progress in Europe between 2008 and 2017. Considering the growth in the aviation sector, with a 41% increase in the number of passengers carried (World Bank, 2020), this result is straightforward. 2) The low level indicates that there is a relatively large gap between the actual output

of the CO₂ utilization and the potential output. There are also about 18 countries below the average value. 3) Slovakia is the country that has achieved the most effective reduction in CO₂ emission with the determined inputs. Although countries such as Slovenia and Estonia have lower average emission values, none of them has been found to be the most efficient country when inputs are considered. 4) In spatial terms, efficiency values differ between countries. Generally, it is seen that eastern European countries are effective in reducing CO₂ emissions.

After this step, we compared the results of DEA and Malmquist productivity indexes, which are nonparametric methods, regarding the results of the stochastic frontier analysis. DEA is one of the most used nonparametric methods that evaluate the relative efficiency of the given units. On the other hand, the Malmquist Productivity Index (MPI) developed by Caves et al. (1982) is used for efficiency in panel data. This method not only evaluates the relative efficiency but also decomposes the efficiency and technological change. In order to obtain reliable results from DEA, we need homogeneity in the values of the variables. Therefore, the variables are standardized by dividing each value with the maximum value of those variables so that we can ensure the homogeneity (see Kao, 2006). Also, since the CO₂ emissions are undesired variables, these variables' values are standardized with taking the inverse (see Lewis and Sexton, 2004).

Since we take the inverse of all values of CO₂ emissions, when the values of the variables increase, there is a decrease in the amount of CO₂ emissions. The working principle of the output-oriented model is to increase efficiency by increasing the outputs while the inputs are constant. Since it is aimed to decrease CO₂ emission in aviation (to increase 1/CO₂), this is the reason to choose the output-oriented DEA for our model (see Tyteca, 1996). Also, we use the variable return to scale model since when there is an increase in inputs, there is not an increase at the same rate in outputs.

The number of DMU should be greater than 3 x (number of inputs + number of outputs) or the number of inputs x number of outputs (Egilmez and Deborah, 2013). Our dataset used for efficiency includes 28 DMU, which is greater than 9, so this means that the dataset is sufficient for this method.

Stata 14 software is used to implement the Malmquist productivity index (MPI) and to summarize the change between 2008 and 2017. Total Factor Productivity Change (Tfpch) or, in other words, MPI, which can be divided into two: (i) Technical Efficiency Change (Effch); (ii) and Technological Change (Techch). The last one is also two-fold: (i) efficiency change due to managerial improvement, i.e., Pure Efficiency Change (Pech); and (ii) efficiency towards improvement, i.e., so-called Scale Efficiency Change (Sech). Both are shown as average in years in Table 5. According to DEA results (given in the appendix as Table A1)[‡], Cyprus, Estonia, Lithuania, Latvia, Malta, Slovenia and Slovakia are relatively more efficient on CO₂ emissions in aviation in all years. We observe that the stochastic frontier analysis provides a better separation. On the other hand, when the efficiency results obtained from DEA and stochastic frontier analysis are compared, it is seen that the magnitude of the spearman rank correlation coefficient varies between 0.72 and 0.78 in years. In this case, there is a sufficiently high degree of correlation / similarity between the results of the two methods.

Table 5. Malmquist productivity index

	Tfpch	Effch	Techch	Pech	Sech
Austria	1.00	1.05	0.97	1.05	1.00
Belgium	1.01	1.05	0.97	1.06	1.00
Bulgaria	1.17	1.23	1.14	1.44	1.54
Cyprus	0.52	1.14	0.61	1.00	1.14
Czechia	1.08	1.03	1.06	1.03	1.00
Germany	1.02	1.06	0.97	1.06	1.00
Denmark	1.01	1.05	0.97	1.06	1.00
Estonia	1.64	1.08	1.33	1.00	1.08
Greece	1.13	1.15	1.03	1.17	1.00

[‡] Stata software gives efficiency scores greater than 1. For convenience, the inverse scores (which are between 0 and 1) are calculated and given in this table.

Table 5. Malmquist productivity index (cont'd)

	Tfpch	Effch	Techch	Pech	Sech
Spain	1.02	1.07	0.97	1.07	1.00
Finland	1.02	1.07	0.97	1.06	1.01
France	1.00	1.05	0.97	1.05	1.00
Croatia	0.60	1.21	0.54	1.15	1.11
Hungary	1.53	1.08	1.18	0.92	1.48
Ireland	1.02	1.05	0.97	1.05	1.00
Italy	1.01	1.06	0.97	1.05	1.00
Lithuania	1.01	1.09	0.95	1.00	1.09
Luxembourg	1.08	1.03	1.06	0.90	1.33
Latvia	1.10	1.24	0.96	1.00	1.24
Malta	1.20	1.00	1.20	1.00	1.00
Netherlands	1.01	1.05	0.97	1.05	1.00
Poland	1.07	1.10	0.98	1.11	0.99
Portugal	1.05	1.09	0.97	1.09	1.00
Romania	1.03	1.18	0.89	1.83	1.80
Sweden	0.94	0.99	0.97	1.00	0.99
Slovenia	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00
Slovakia	1.07	1.00	1.10	1.00	0.99
United Kingdom	1.01	1.05	0.97	1.05	1.00

Based on the stochastic frontier analysis results shown in Table 3, by using statistically significant variables, we calculate the Malmquist productivity index for EU-28 countries for the period from 2008 to 2017. The results are represented in Table 5[§]. Malmquist productivity index (Tfpch) includes both technological changing and efficiency changing. In Table 5, we can see that the Tfpch values of all DMU are generally higher than “1”. Tfpch values of these countries are lower than “1”, and this means that these countries show a decrease in technological (Techch) or efficiency change (Effch) on average (such as Cyprus and Croatia in technological efficiency). We can also see some countries in which pure efficiency value (Pech) is higher than “1” by far (such as Bulgaria and Romania). It means that these countries have an increase in their managerial improvement. On the other hand, technologically efficient (Techch) values of twenty countries are lower than “1” in reducing CO₂ emissions in aviation amongst all EU-28. Since the time dimension of the data is short, it is expected that countries may have problems adapting to new technological aircraft in this short period. Therefore, this result is an expected situation. It is also observed that the technical efficiencies (Effch) of all countries increased in this period. Additionally, we can also say that all EU-28 countries perform their operations at an optimum level since their scale efficiencies (Sech) are almost equal and greater than 1.

Based on these five criteria, Bulgaria is seen as the country that has made relatively the highest progress in terms of efficient CO₂ reduction in aviation. When we check the descriptive statistics of CO₂ emission in aviation, we observe that the average amount of emissions from the aviation of Bulgaria is lower than the overall average. Although there are some countries causing lower emissions, they show less improvement than Bulgaria.

[§] Average values for 10 years are given in this table.

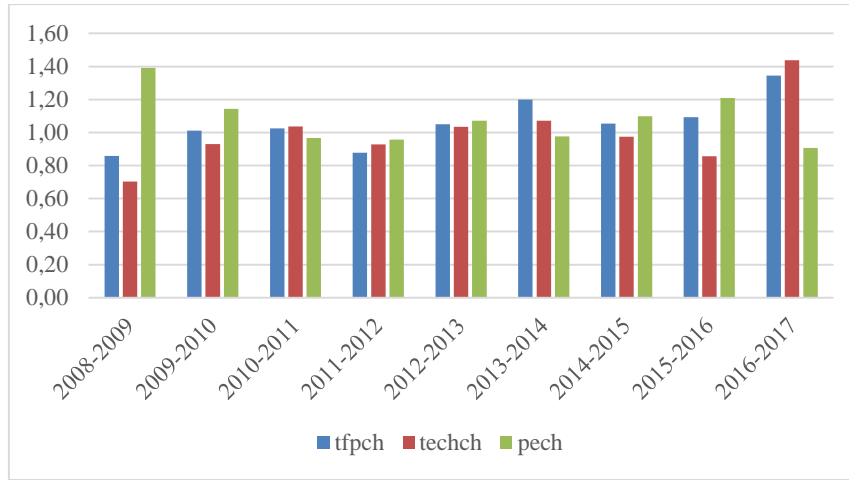


Figure 1. Averages of tfpch, techche and pech over the 2008 and 2017 for EU-28.

Figure 1 illustrates the averages of Tfpch, Techch, and Pech over the 2008 and 2017 period. We can see that there are fluctuations for all indicators in this period, which means that the EU countries have no deterministic trends for these three indicators. This result supports the results of the stochastic frontier analysis. When we evaluate the Tfpch, the average value is above “1” during the periods 2009-2010, 2010-2011, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016, and 2016-2017. In all of these periods, technical efficiency change (Effch) leads to this increase, and this implies that there is an average increase in the reducing CO₂ efficiency in aviation in EU-28 countries while technology efficiency is low. The most efficient period in terms of technology is the 2016-2017 period.

When we examine the changes from year to year on a country-basis, we observe that Bulgaria increased its technical efficiency considerably in the 2015-2016 period. In terms of technological efficiency, we see that Estonia and Slovakia made progress in 2016 and 2017. In the 2010-2011 period, Bulgaria and Hungary made progress in terms of scale efficiency.

6. Discussion

In 2018, the ICAO council adopted the international standards and proposed practices for the implementation of ICAO's Carbon Offset and Reduction Plan for International Aviation. The pilot phase applies from 2021 through 2023 to states that have volunteered to participate in the scheme. To our knowledge, the 73 governments already signed up to CORSIA cover 88 % of aviation. The Standards and Suggested Practices adopted by ICAO were tested before the adoption of this agreement with the support of the German Government and the participation of six partner countries and ten airline companies.

The share of emissions in aviation is expected to rise by 2050 regularly, due to the increase in demand for both passenger and cargo flights, and the decrease in emissions generated by the other parts of the economy. CORSIA is one of the main tools for the growth of aviation activity without causing additional emissions. According to that, airlines will have an option to purchase emissions reductions from other sectors to offset their emissions increases above a certain level. They will be able to use offsets from, for example, the UN's Clean Development Mechanism and forestry loans. Besides the CORSIA, ICAO hopes to achieve the carbon-neutral growth target by 2020 and beyond, by taking additional measures to increase efficiency and using sustainable fuels. According to CORSIA, airline companies will be able to earn carbon credits from fossil fuels that cause fewer emissions than conventional fossil fuels. A distinction is also made between developed and developing countries, as well as between airlines with efficient and less efficient aircraft.

In this study, we examine whether European countries are ready for the CORSIA plan or not. According to the results of our analysis energy in aviation per flight, millions of passenger-kilometers, freight and mail million tonne-kilometer, total commercial aircraft fleet by age, globalization index and total number of airports are critical criteria to reduce CO₂ emission in aviation. These values should be stabilized at the optimum level for each year, starting from 2019 to achieve the implementation of

CORSIA. When there is an increase in the number of cargos, the number of passengers, and the number of aircraft types, emission values are expected to increase. However, airline companies do not tend to waive their profitability ratios by reducing these values to mitigate their emission values. The analysis result also shows that since 2008, all of the European countries have not tended to decrease their emissions significantly.

On the other hand, East European countries are found as relatively efficient in reducing CO₂ emissions in aviation. Such as Slovenia and Slovakia are found to be efficient countries based on stochastic frontier analysis, but when time dimension is involved, Bulgaria is obtained as shown most improvement country in reducing CO₂ emissions in aviation. They are efficient candidates for CORSIA conditions. However, even these countries are still not adequately prepared. The Emissions Trading System database statistics of the European Commission shows that the amounts of verified emissions generally exceed the allowances allocated free of charge amounts since 2013 for these countries (see EEA,2020). It does not contradict our results, which say that the European countries have not significantly reduced the CO₂ emissions over the years because there is no totally deterministic trend in their efficiency changes. The reason why we find these countries more efficient than other countries is due to the fact that the increase in CO₂ emissions in these countries is less than that in other countries. However, both these and other countries aim to reduce their CO₂ emissions by implementing specific policies. For example, Slovakia has introduced operational and financial planning of the use of biofuel for transport among long- and short-term plans, which are based on 2011.

Moreover, it is aimed to achieve environmental benefits in real operations at Bratislava airport. Apart from these countries, other countries are also implementing various policies to reduce emissions in aviation. The ICAO reports imply that action plans prepared by the states for Greece and Finland have been developed to reduce CO₂ emissions in the aviation sector. The Greek legislation for biofuels has been adopted since 2005. Besides, aircraft engine washes, aircraft weight reduction, route optimization, and fleet modernization reduction of flight time are aimed. Lastly, short-term and long-term targets are identified, and projects aimed at reducing emissions are introduced. In Finland, the general objectives are as follows: improving air traffic management and infrastructure use, alternative using fuels, adopting aircraft-related technology development. The implementations of more efficient operations are as below: reducing aircraft empty weight center for gravity optimization, replacing current aviation fuels with biokerosene, and creating Helsinki Airport as a “Bio-hub.”

The number of studies investigating the carbon dioxide reduction efficiency in aviation based on country data is quite low. For instance, Lu et al. (2013) investigate the CO₂ emission efficiency in OECD countries by using the input variables of industry and population and the output variances of gross domestic product and the amount of fossil-fuel CO₂ emission in the data envelopment analysis. They find that the European countries, which are Denmark, France, Greece, Iceland, Luxembourg, Norway, Switzerland, the United Kingdom, are the most efficient. As another example, Kasman and Duman (2015) examine the relationship between energy consumption, carbon dioxide emissions, economic growth, trade openness, and urbanization of new EU member and candidate countries by using panel data from 1992 to 2010. They find that there is a casual relationship from energy consumption to carbon emissions. This result is similar to our findings.

The results also point that aviation energy is highly correlated with the emission due to fuel-related effects. Because of this, some leading aircraft companies try to manufacture more fuel-efficient aircraft (such as Boeing 787 and Airbus A350). In addition to utilizing new technology, commercial flights started using sustainable alternative fuel. It is predicted that the use of alternative fuel can reduce CO₂ emissions by up to 80 % compared to traditional jet fuel (IATA, 2017). The transport sector promises a significant potential for energy efficiency through the expansion of fuel-efficient vehicles. For example, Hassan et al. (2018) use aircraft technologies, operational improvements, and sustainable biofuels for the Monte Carlo simulations, and they find that biofuels have an average 64 % effect on CO₂ emissions.

To achieve the IATA target, approximately 60 new bio-refineries are required annually by 2050 (Staples et al., 2018). Airframe and engine design (like blended-wing-body aircraft, wing-in-ground effect vehicles) and management developments (like load factors and air traffic management) are important to reduce aviation industry emissions. Related to these facts, airline companies have started to use some

fuel-efficient and new technology planes such as Airbus A321-neo. These examples show that fuel-efficient airplanes will have an important role in keeping airline companies' CORSIA targets. Therefore, the companies are expected to prefer fuel-efficient aircraft in order to avoid opportunity costs of lower profits otherwise caused by reducing the number of freight or passengers to achieve CORSIA targets.

Airline companies can also use the credits of the United Nations mentioned in CORSIA implementation, or they can purchase emissions from other sectors to reduce their CO₂ emissions. In addition to these, governments can implement the white certificate system to encourage airline companies to reduce their emissions. Additionally, trading of these white certificates within the sector or across the sectors can be a good option for airlines to increase their financial profitability. Taxation on tickets (applied in some countries such as Germany, Netherlands) can also be another option, but the customers do not prefer it.

7. Conclusions

According to CORSIA, the requirements for decreasing CO₂ emissions in aviation should be applied by the participated countries. For this purpose, we aim to find significant factors affecting CO₂ emissions and determine the EU countries which are efficient in reducing CO₂ emission in aviation. By using the Eurostat data via panel data based stochastic frontier analysis, we find that energy in aviation per flight, millions of passenger-kilometers, freight and mail million tonne-kilometer, total commercial aircraft fleet by age, globalization index and total number of airports have positive and significant effects on CO₂ emissions in aviation for the EU-28 countries for 2008-2017 period. Moreover, the results of the DEA-based Malmquist productivity index indicate that Slovenia and Slovakia is relatively more efficient countries while Bulgaria has increased efficiency above the average.

When we compare the results of Stochastic frontier analysis and Malmquist productivity index, it is an advantage that the Stochastic frontier analysis shows significant variables. However, according to this analysis, although there is not much change in the efficiencies over the years, the Malmquist productivity index reveals the progress in different efficiency values. Nevertheless, as a whole, there is no increasing trend in efficiency for EU-28 countries. In this respect, this study reflects the analysis of countries in the CORSIA process. Therefore, it presents important results for airline managers and governments.

Airlines are not expected to reduce their total freight of mails, the number of passengers or the number of fleets to reduce their emissions. However, as stated in the CORSIA, fuel-efficient aircraft may be used to reduce emissions by using appropriate loans. As another option, emissions of airlines that do not meet the emission standards can be traded between airlines or across the sectors — also, government-supported tradable.

In the literature, the number of studies comparing the success of countries for reducing emissions in the aviation sector is limited. This work contributes to the literature significantly. For future studies, this study can be expanded by using different variables or making optimization in order to determine the other appropriate factors and required quantities for reducing emissions. We have worked on the total emission values in aviation in line with the purposes in CORSIA, but efficiency values can also be calculated on the carbon emissions per flight. In addition, since Malmquist productivity index is based on DEA, the results of DEA were included in this study. However, the results were not obtained as distinctive as in the stochastic frontier analysis in efficiency scores. The super-efficiency in DEA method can be tried instead of DEA, which provides better separation. Finally, since the available data for this study covered only until 2017, this study provided information about whether the countries are ready or not for CORSIA. Future research would show a clearer picture regarding the effect of CORSIA once further data is available - keeping in mind that the outlying impact of COVID-19 on the aviation industry is neutralized.

Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

Acknowledgment and/or disclaimers

I, as the correspondence author, thank my husband, Umut AYDIN , for his support.

Conflict of Interest Statement

The authors have no conflict of interest to disclose.

References

- Aircarbon**, (2020). Understanding CORSIA. <https://www.aircarbon.co/corsia> (accessed 8 October 2020).
- Andreoni, V., Galmarini, S.** (2012). European CO₂ emission trends: A decomposition analysis for water and aviation transport sectors. *Energy*, 45 1, 595-602.
- Arjomandi, A., Dakpo, K. H., Seufert, J. H.** (2018). Have Asian airlines caught up with European Airlines? A by-production efficiency analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 389-403.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W.** (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30 9, 1078-1092.
- Barros, C. P.** (2005). Performance measurement in tax offices with a stochastic frontier model. *Journal of Economic Studies*, 32(6), 497-510.
- Becken, S.** (2002). Analysing international tourist flows to estimate energy use associated with air travel. *Journal of Sustainable Tourism*, 102, 114-131.
- Brueckner, J. K., Abreu, C.** (2017). Airline fuel usage and carbon emissions: Determining factors. *Journal of Air Transport Management*, 62, 10-17.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., Diewert, W. E.** (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1393-1414.
- Caves, D. W., Christensen, L. R., Tretheway, M. W.** (1983). Productivity performance of US trunk and local service airlines in the era of deregulation. *Economic Inquiry*, 213, 312-324.
- Chakraborty, K., Biswas, B., Lewis, W. C.** (1999). Technical efficiency in stochastic production frontier: A simultaneous equation approach. *Economics Research Institute Study Paper*, 10, 1.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E.** (1978). A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow through Experiment in US Public School Education No. MSRR-432 Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group.
- Dreher, A.** (2006). KOF index of globalization. Zürich: Konjunkturforschungsstelle ETH Zürich.
- Düzgün, B.** (2014). Türkiye'nin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi: beyaz sertifikalar sisteminin Türkiye'ye uygulanabilirliğinin incelenmesi. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Turkey.
- EC** (2013). Commission staff working document. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20131106_swd_guidance_neeaps.pdf (accessed 8 October 2020).
- EC** (2020). Reducing emissions from aviation. https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation_en (accessed 1 October 2020).
- EEA** (2020). EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1> (accessed 1 October 2020).

Egilmez, G., Mcavoy, D. (2013). Benchmarking road safety of US states: A DEA-based Malmquist productivity index approach. *Accident Analysis and Prevention*, 53, 55-64.

ENSPOL (2015). Energy saving policies and energy efficiency obligation schemes. https://energypedia.info/images/5/5c/Report_on_Alternative_schemes_to_Energy_Efficiency_Obligations_under_Article_7_implementation.pdf (accessed 16 February 2020).

EU (2020). Directive of the European parliament and of the council. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0210.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC (accessed 16 February 2020).

Fitzgerald, J., Tol, R. S. (2007). Airline emissions of carbon dioxide in the European trading system No. 179 Working Paper, *The Economic and Social Research Institute ESRI*. Dublin.

González, R., Hosoda, E. B. (2016). Environmental impact of aircraft emissions and aviation fuel tax in Japan. *Journal of Air Transport Management*, 57, 234-240.

Grote, M., Williams, I., Preston, J. (2014). Direct carbon dioxide emissions from civil aircraft. *Atmospheric Environment*, 95, 214-224.

Guardian (2020). World's first fully electric commercial aircraft takes flight in Canada. <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/11/worlds-first-fully-electric-commercial-aircraft-takes-flight-in-canada> (accessed 16 February 2020).

Hassan, M., Pfaender, H., Mavris, D. (2018). Probabilistic assessment of aviation CO₂ emission targets. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 362-376.

Henningsen, A. W. (2010). Globalization for Growth in the Aviation Maintenance Repair and Overhaul Industry. In *Globalization 2.0* pp. 37-55. Springer, Berlin, Heidelberg.

IATA (2017). Annual Review. <https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/iata-annual-review-2017.pdf>, (accessed 3 October 2020).

ICAO (2016). On board a sustainable future: 2016 environmental report. <http://www.icao.int/environmentalprotection/Documents/ICAO%20Environmental%20Report%202016.pdf> (accessed 8 October 2020).

IPCC (1999). IPCC special report aviation and the global atmosphere. <https://www.ipcc.ch/report/aviation-and-the-global-atmosphere-2/> (accessed 5 October 2020).

Kantenbacher, J., Hanna, P., Cohen, S., Miller, G., Scarles, C. (2018). Public attitudes about climate policy options for aviation. *Environmental Science and Policy*, 81, 46-53.

Kao, C. (2006). Interval efficiency measures in data envelopment analysis with imprecise data. *European Journal of Operational Research*, 174, 1087-1099.

Kasman, A., Duman, Y. S. (2015). CO₂ emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: a panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97-103.

Kula, V., Kandemir, T., Özdemir, L. (2009). Vza Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Ölçüsü: İmkb'ye Koteli Çimento Şirketleri Üzerine Bir Araştırma. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*. 9 17, 186-202.

Kumbhakar, S. C., Lovell, C. K. (2000). *Stochastic production frontier*. Cambridge University Press.

- Lewis, H. F., Sexton, T. R.** (2004). Data envelopment analysis with reverse inputs and outputs. *Journal of Productivity Analysis*, 212, 113-132.
- Li, Y., Wang, Y. Z., Cui, Q.** (2016). Has airline efficiency affected by the inclusion of aviation into European Union Emission Trading Scheme? Evidences from 22 airlines during 2008–2012. *Energy*, 96, 8-22.
- Lu, C. C., Chiu, Y. H., Shyu, M. K., Lee, J. H.** (2013). Measuring CO₂ emission efficiency in OECD countries: Application of the Hybrid Efficiency model. *Economic Modelling*, 32, 130-135.
- Meleo, L., Nava, C. R., Pozzi, C.** (2016). Aviation and the costs of the European Emission Trading Scheme: The case of Italy. *Energy Policy*, 88, 138-147.
- Merkert, R., Hensher, D. A.** (2011). The impact of strategic management and fleet planning on airline efficiency—A random effects Tobit model based on DEA efficiency scores. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 457, 686-695.
- Molloy, J., Melo, P., Graham, D., Majumdar, A., Ochieng, W.** (2012). Role of air travel demand elasticities in reducing aviation's carbon dioxide emissions: Evidence for European airlines. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2300, 31-41.
- Pan, W. J., Huang, C. Y., Wang, W. B.** (2014). Research on mitigating methods to reduce civil aviation emission. *In Advanced Materials Research*, 864, 1830-1835.
- Rizet, C., Cruz, C., Mbacké, M.** (2012). Reducing freight transport CO₂ emissions by increasing the load factor. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 184-195.
- Sarafidis, V.** (2002). An Assessment of Comparative Efficiency Measurement Techniques, *Europe Economics*, Occasional Paper, 2.
- Scotti, D., Volta, N.** (2015). An empirical assessment of the CO₂-sensitive productivity of European airlines from 2000 to 2010. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 37, 137-149.
- Staples, M. D., Malina, R., Suresh, P., Hileman, J. I., Barrett, S. R.** (2018). Aviation CO₂ emissions reductions from the use of alternative jet fuels. *Energy Policy*, 114, 342-354.
- Toloo, M., Nalchigar, S.** (2009). A new integrated DEA model for finding most BCC-efficient DMU. *Applied Mathematical Modelling*, 331, 597-604.
- Tracking Transport Report** (2019). Tracking transport report. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019> (accessed 8 November 2019).
- Tyteca, D.** (1996). On the measurement of the environmental performance of firms—a literature review and a productive efficiency perspective. *Journal of environmental management*, 463, 281-308.
- Wilkerson, J. T., Jacobson, M. Z., Malwitz, A., Balasubramanian, S., Wayson, R., Fleming, G., ..., Lele, S. K.** (2010). Analysis of emission data from global commercial aviation: 2004 and 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1013, 6391-6408.
- Wise, M., Muratori, M., Kyle, P.** (2017). Biojet fuels and emissions mitigation in aviation: An integrated assessment modeling analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 244-253.
- World Bank** (2020). Air transport, passenger carried. <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR>, (accessed 8 October 2020).

Zhang, J., Fang, H., Wang, H., Jia, M., Wu, J., Fang, S. (2017). Energy efficiency of airlines and its influencing factors: a comparison between China and the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 1-8.

Zhou, W., Wang, T., Yu, Y., Chen, D., Zhu, B. (2016). Scenario analysis of CO₂ emissions from China's civil aviation industry through 2030. *Applied Energy*, 175, 100-10.

Appendix

Table A1. Technical efficiency scores obtained from DEA

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Austria	21	25	28	31	31	27	28	29	38	30
Belgium	41	50	56	63	60	52	55	58	70	64
Bulgaria	2	1	4	1	1	1	1	1	4	1
Cyprus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Czechia	11	13	13	13	9	12	10	10	14	11
Germany	264	340	355	358	399	370	362	349	456	414
Denmark	27	31	34	37	39	35	38	36	47	40
Estonia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Greece	33	42	41	45	29	34	14	43	37	37
Spain	159	191	211	237	232	209	218	218	294	262
Finland	20	23	25	31	31	29	29	28	34	30
France	210	259	276	303	311	283	286	288	348	294
Croatia	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Hungary	8	9	10	1	1	1	1	1	1	1
Ireland	28	29	32	29	26	27	30	33	42	41
Italy	118	141	158	169	169	150	154	154	199	178
Lithuania	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luxembourg	5	6	6	5	4	1	1	1	1	1
Latvia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Malta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Netherlands	108	132	137	150	151	141	148	150	187	160
Poland	14	18	18	18	24	22	25	26	34	35
Portugal	28	35	41	44	46	43	46	46	61	58
Romania	1	7	7	5	1	4	3	5	1	1
Sweden	29	32	35	39	39	37	36	35	42	26
Slovenia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Slovakia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
United Kingdom	348	436	447	489	496	459	466	457	557	498

Araştırma Makalesi

Akıllı otopark sistemlerinde kullanılan araç tanıma teknolojileri üzerine bir inceleme

Bora Doğaroğlu^{1,2*}, S. Pelin Çalışkanelli¹

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, mühendislik Fakültesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar: boradogaroglu@iyte.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1098978

Özet: Günümüz şehir planlama ve yönetimi için trafik talebindeki artışın paralelinde otopark talebindeki artış acil çözüm bekleyen sorunlar arasında yer almaktadır. Özellikle otopark talebinin yüksek olduğu şehir merkezlerinde yeterli alan bulunmaması otopark altyapı tesislerinin inşasına olanak tanımamaktadır. Soruna yaygın çözüm olarak kullanılan yöntem mevcut kapasitenin etkin kullanımı ve talep yönetimidir. Akıllı ulaşım sistemleri özellikle Akıllı Otopark Sistemleri (AOS) özelinde düşünüldüğünde kapasitenin uygun kullanımı ve talep yönetimi için en güncel yöntem olarak tercih edilmektedir. AOS'un etkin uygulanabilmesi de etkin araç tanıma ve detektör teknolojilerine bağlıdır. Bu çalışmada AOS'un verimliliği için etken olan araç tanıma detektör sistemleri kategorize edilerek tanıtılmış ayrıca yaygın kullanılan detektör teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları dikkate alınarak kıyaslamaları yapılmıştır. Sunulan sınıflandırmalar ile AOS tasarımı yapılırken kullanılacak etkin teknoloji seçimi konusunda yardımcı olmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemi, akıllı otopark sistemi, araç detektörleri, araç tanıma sistemleri, otopark detektör teknolojileri

An Investigation on vehicle detection technologies used in smart parking systems

Abstract: Today for the city planning and management, the increase in the demand for parking in parallel with the traffic demand increase is among the problems waiting for an urgent solution. Especially in city centers where parking demand is high, the lack of sufficient space does not allow the construction of parking infrastructure facilities. The method widely used as a solution to the problem is the effective use of existing capacity and demand management. Intelligent transportation systems are preferred as the most up-to-date method for the appropriate use of capacity and demand management, especially when considering Intelligent Parking Systems (IPS). Effective implementation of IPS also depends on effective vehicle recognition and detector technologies. In this study, vehicle recognition detector systems, which are effective for the efficiency of IPS, were categorized and introduced, and comparisons were made by considering the advantages and disadvantages of commonly used detector technologies. With the presented classifications, it is aimed to assist in the selection of effective technology to be used while designing the IPS.

Keywords: Intelligent transportation system, Smart parking system, Vehicle detectors, Vehicle recognition systems, Parking detector technologies

* Corresponding author.

E-mail address: boradogaroglu@iyte.edu.tr

ORCID: ¹0000-0002-0920-6676, ²0000-0002-0530-3276

Received 05.04.2022; accepted 05.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Hızla artan araç sahipliği ve park yeri ihtiyacının karşılanabilmesi için, otoparkların doğru planlanması ve yönetilmesinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde talep artışını karşılamak için otopark yönlendirme ve bilgilendirme sistemleri otopark yönetimi amacıyla etkin olarak kullanılmaktadır. Kullanılan AOS uygulamaları sayesinde otoparkların dolulukları hakkında anlık veriler toplanabilmekte, toplanan veriler farklı bilgilendirme teknolojileri yardımı ile sürücüleri uygun otoparklara yönlendirmek için kullanılabilir (Dogaroglu, 2019; Dogaroglu vd.,2021; Dogaroglu ve Caliskanelli, 2020). Bu uygulamalar sayesinde otopark kapasitelerinin azami düzeyde kullanımı mümkün olmaktadır.

Otopark yönetiminde ve araç yönlendirme sistemlerinde, otoparkların doluluk oranlarının anlık olarak belirlenmesi, AOS'un etkin çalışabilmesi için çok önemlidir (Dogaroglu vd.,2021; Dogaroglu ve Caliskanelli, 2020). Doğru ve anlık olarak doluluk bilgi akışının sağlanabilmesi için çeşitli araç tespit ekipmanları kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar uygulama yapılacak otoparkın yerleşim planı, park tipi ve ayrılan bütçe gibi birçok kriterleri dikkate alarak seçilmektedir. Araç tanıma ekipmanları otoparkların sadece giriş ve çıkışlarına yerleştirilebileceği gibi her park yerine ayrı ayrı da yerleştirilerek doluluk tespiti yapabilirler. Araç tanıma ekipmanları ile elde edilen doluluk verileri bilgisayarlar ile işlenerek çeşitli yöntemler ile sürücülere aktarılırlar (Al-Kharusi ve Al-Bahadly, 2014; Shobhit Shanker ve Mahmud, 2005; Yan vd.,2009). Araç tanıma ekipmanları iki farklı tipte uygulanmaktadır:

1. Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri
2. Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri

Dahili sistemlerde, araç tanıma ekipmanları yol yüzeyinde açılan deliklerin içine yerleştirilirken harici sistemlerde yol yüzeyine ya da tavana monte edilebilen ekipmanlar ile araç tanıma yapılabilmektedir. Dahili sistemler anlık olarak tek araç tanınması yapabilirken harici sistemler birden çok araç tanınması yapabilmektedir (Idris vd.,2009; Wang Longfei vd.,2009; X. Zhang ve Wan, 2010)

1.1. Dahili (Intrusive) araç tanıma sistemleri

Dahili araç tanıma sistemleri, yol yüzeyinde veya otopark girişlerinde kırım yapılarak açılan boşlukların içerisine araç tanıma ekipmanlarının monte edilmesi ile uygulanmaktadır. Bu uygulama ile yol kaplamasında oluşan hasar kaplama ömrünü azaltmakta ayrıca montaj sırasında araç trafiğinin durdurulmasına sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra yol yüzeyine monte edilen ekipmanların trafik yüküne maruz kalacak olması sebebi ile her zaman hasar görme riski bulunmaktadır (Dogaroglu, 2019).

Dahili araç tanıma sistemlerine örnek olarak:

- İndüksiyon sarmalı sensörleri,
- Magnetometreler,
- Manyetik dirençli sensörler,
- Pnömatik tüplü sensörler ve
- Piezoelektrik sensörler gösterilebilir (Chinrungrueng vd.,2007; Dogaroglu, 2019; Lenz ve Edelstein, 2006; Mimbela ve Klein, 2000; Mouskos, Boile, ve Parker, 2007).

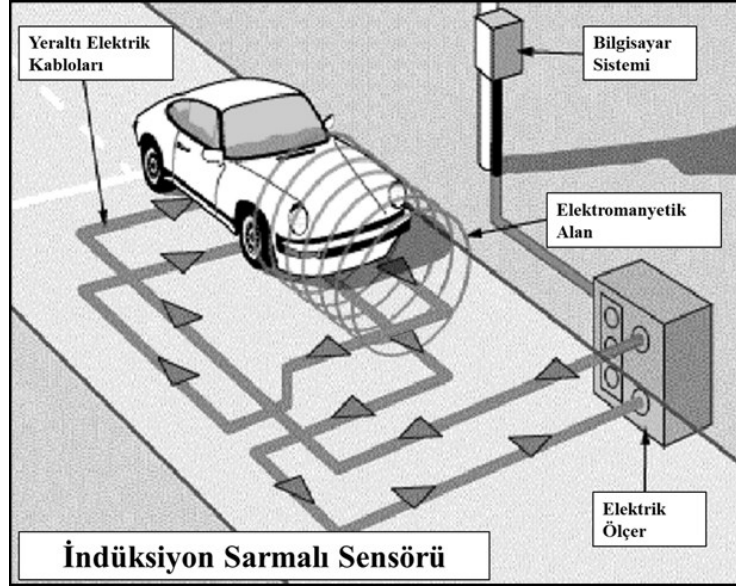
Yukarıda verilen dahili araç tanıma teknoloji hakkında bilgiler ve otoparklar araç tespiti için avantaj/dezavantajları takip eden bölümde sırası ile belirtilmiştir.

1.1.1. İndüksiyon sarmalı sensörü (İSS)

Bir İSS, üzerinden araç geçişi sebebi ile endüktansta oluşan azalmayı ölçen endüktif bir eleman ve bir elektronik üniteden oluşur. İSS sensörleri esas olarak hareket halindeki araçlar için tasarlanmıştır ve trafik akışını izlemek için kullanılır. Ancak, uygun şekilde monte edilirse park yerlerinin doluluk durumunu da tespit edebilir. İSS'ler zemine kurulur ve daha çok dış mekanlarda kullanılır (Winter ve Goel, 2021).

İSS normalde yol kaplamalarına dairesel veya dikdörtgen şekilde kurulur (Kotb ve diğerleri, 2017). Şekil 1'de gösterildiği üzere, içerisinden elektrik akımı geçen ve elektromanyetik alan oluşturan birkaç

tel halkadan oluşurlar. Bu elektromanyetik alan endüktansı, sensör üzeri araç varlığında ve/veya üzerinden araç geçişinde 10-50 kHz arasında bir frekans oluşturur. Oluşan bu frekans, aslında elektronik ünitenin daha yüksek olan endüktans frekansında bir azalmaya neden olur ve bu da kontrol ünitesine aracın geçişini veya mevcudiyetini belirten bir impuls gönderir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Kotb vd.,2017; Revathi ve Dhulipala, 2012).



Şekil 1. İndüksiyon sarmalı sensörü (G.C vd.,2014).

İSS'ler, giren ve çıkan araç sayısını sayarak boş park yerlerinin mevcudiyetini tespit etmek için otopark giriş ve çıkışında yaygın olarak kullanılırlar. Bu detektörlerin kurulumu ve bakımı pahalıdır ve genellikle kapalı otoparklarda toplam boş park yerlerinin sayısını bulmak için kullanılırlar. Ancak, park yerinin doluluk durumu, yani park şerit çizgileri içinde araç olup olmadığı İSS kullanılarak tespit edilemez (Paidi vd.,2018; Sarangi vd.,2019).

İSS'ler, farklı çevre koşullarında iyi performans gösterdikleri için genellikle oldukça güvenilir olarak kabul edilirler. İSS'lerin olumsuz özelliği olarak çabuk aşınmaları ve düzenli olarak onarım ve bakım gerektirmeleri söylenebilir. Genel olarak, performansları çevresel koşullardan etkilenmediği için İSS'ler doğru ve güvenilirlerdir. Bununla birlikte, çabuk yıprandıkları ve düzenli onarım ve bakım gerektirdiği için kurulum ve bakımları pahalıdır (Winter ve Goel, 2021) Ayrıca, uygulamasında yolun yeniden kaplanmasını gerektirmesi, daha doğru ölçüm için birden çok detektöre ihtiyaç duyulması, trafik yüküne ve sıcaklık değişimlerine karşı yüksek hassasiyetli olmaları ve bakım/onarım zamanında trafik kesintisine sebep vermesi İSS'nin dezavantajları olarak gösterilebilir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

1.1.2. Magnetometreler

Manyetometreler, İSS'ler ile benzer prensiple çalışmaktadır. Karayolu taşıtları gibi metalik nesnelere sensörlerin üzerinden geçmesi ile oluşan manyetik alanındaki değişiklikleri algırlar. Manyetik bozulmanın nedeni, manyetik alanın havanın aksine demir içerikli metallere kolayca akabilmesidir (Arab ve Nadeem, 2017). Tek eksenli ve çift/üç eksenli olmak üzere iki tip manyetometre vardır. Taşıtların varlığı tespitinde iki/üç eksenli manyetometrenin kullanılması detektörün tespit doğruluğunu yükseltir. Bununla birlikte, her iki tip manyetometre de tespit açısından güvenilirdir ve istenmeyen hava koşullarına dayanıklıdır (Al-Turjman ve Malekloo, 2019). Şekil 2'de bir magnetometre uygulaması örneği gösterilmiştir.



şekil 2. Otopark girişinde magnetometre ile araç sayım uygulaması (Banner, 2019).

Manyetometrelerin araç varlık tespiti yapabilmesi için algılanması istenen araca yakın olmaları gerekir. Bu nedenle sensörler kaplama yüzeyinin hemen altına yerleştirilirler. evre etkilerine karşı duyarlı olmamaları sebebi ile hem açık hem de kapalı otoparklar için uygundur. Gerçek zamanlı park doluluk bilgilerini algılamak için birkaç yıllık pil ömrüne sahip kablosuz sensörleri mevcuttur. Park yerlerinin doluluk durumunu bilmek için sensörler şeritler arası her bir park alanı içerisinde kaplamanın altına yerleştirilmelidir. Ancak, bu sensörleri büyük ölçekte kurmak ve bakımını yapmak pahalıdır (Paidi vd.,2018). Bu arada, şerit kapanması ve zemin kaplamasında kazı olması gibi sebeplerden oluşan tespit hataları ile bazı durumlarda hareketsiz araçların tespit edilememesi bu sensörlerdeki eksiklikler olarak kabul edilmektedir (Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

1.1.3. Manyeto dirençli sensörler (MDS)

MDS'ler, sisteme dışardan etkiyen bir manyetik alanın sistem alıcısında neden olduğu direnç değişikliğini kullanarak tespit yapmaktadır (Lenz ve Edelstein, 2006). MDS prensibi çok basittir. Bir manyetik alan uygulamasında, manyetik alanın temas ettiği bir akım iletkenin i direncinde değişiklik meydana gelir. Dirençteki değişiklikler manyetik alan çizgelerinin yönüne bağlıdır. MDS, çoğunlukla otoparklarda araç tespiti için kullanılır (Fahim vd.,2021; Suryady vd.,2014). MDS'ler, sabit bir akım uygulanarak kolayca enerji yüklenebildiğinden düşük maliyetli uygulamalar için tercih edilmektedir (Lenz ve Edelstein, 2006).

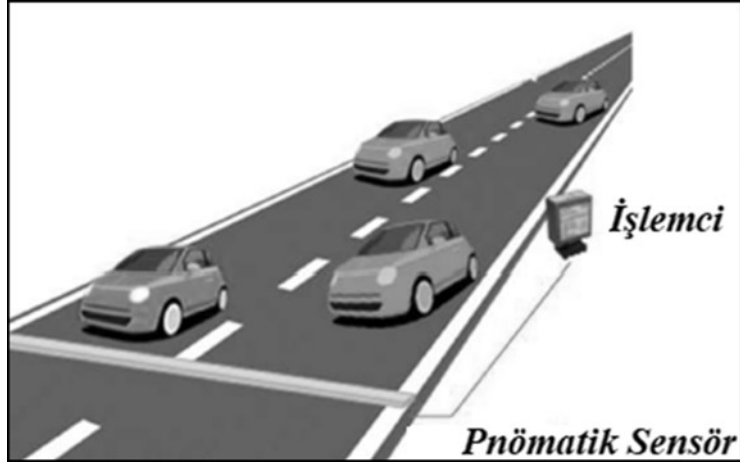
Otopark uygulamalarında MDS'ler, aracın varlığını algılamak için park şeritleri arası alanın ortasına yerleştirilen sensör ağından oluşur. Detektörler tespit ettikleri verileri kablosuz ağ aracılığıyla iletir. Bu veriler, şeritler arası park alanının doluluk oranının belirlenmesi için sunucuda işlenir. Veri tabanı bu verileri saklar ve sürücüler park alanının doluluk durumu hakkında bilgilendirmek için ekranlı tabelalarda sunar (Elaouad vd.,2015).

Yol kenarı otoparkların doluluk durumunun algılanması için uygulanabilecek detektör sistemlerine en iyi aday yakınından geçen ferromanyetik nesnelere algılayabilen Anizotropik Manyeto Dirençli (AMD) sensörlerdir. Diğer sensörlerle karşılaştırıldığında, her bir park yerinin ortasına yerleştirilen manyetik sensörler oldukça küçük, hassas ve çevresel bozucu etkilere (yağmur, sis, rüzgar gibi) karşı daha az duyarlıdır. Ayrıca bu tür detektörler, basit kurulum ve kolay bakım avantajına sahiptir. Bu nedenle, yol kenarı park algılamaya Manyeto Dirençli sensörlerin uygulanması daha olumlu sonuç vermektedir (Zhu ve Yu, 2015).

1.1.4. Pnömatik tüplü sensörler (PTS)

PTS'ye adını veren ve sistemi oluşturan pnömatik basınç tüpünün bir ucunda hava basınç sensörü bulunurken diğer ucu hava kaçağını önlemek için kapalıdır. Dairesel borulardan oluşan ve çapı 1,3mm olan tüpün üzerinden geçen araç tüpü sıkıştırır ve içindeki hava gerilimini yükseltir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Revathi ve Dhulipala, 2012; Winter ve Goel, 2021). Araç geçişi ile tüp içerisinde oluşan basınç, bir elektrik anahtarını kapatarak bir araç verisi oluşturur ve bu veriler değerlendirilmek üzere bir işlemciye (PC) iletir (Kotb vd.,2017). Bir yazılım kullanılarak elde

edilen veriler ile ağırlık ve aks konfigürasyonundan araç tipi tanımlanabilir. Bu sensörler uygun maliyetli olmasının yanı sıra hızlı ve basit kurulum imkânı sunar. Bununla birlikte, bu tip sensörler, uzun araçların geçişi sırasında (örn. otobüsler ve/veya kamyonlar) hatalı dingil sayımı yapabilir. Bu nedenle, park yeri bilgisi ile ilgili uygulamalarda güvenilirliği kesin değildir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019). Şekil 3'te karayoluna bir PTS yerleşimi örneği gösterilmiştir.

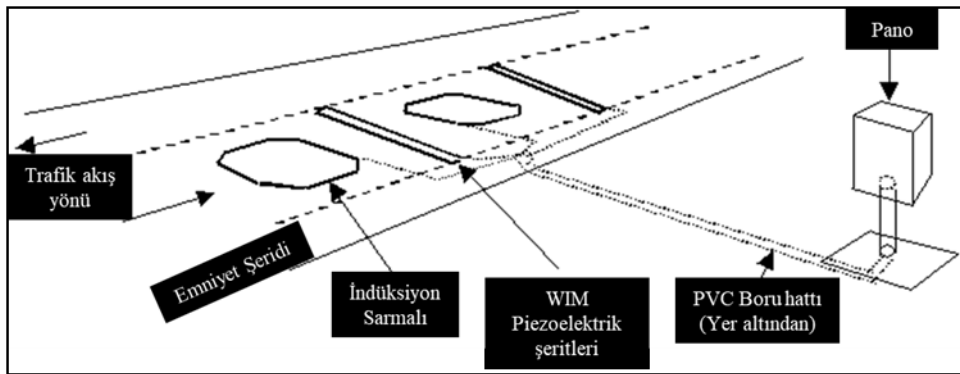


Şekil 3. Pnömatik tüplü sensör (Guerrero-Ibáñez vd.,2018).

Pnömetik tüplü araç tanıma teknolojileri otoparklar için ticari alanda taşıt sayım sistemleri olarak otoparka giren araçların sayısının tespitinde kullanılmaktadır (Wireless Car Counters | View the Range on TPS, 2022).

1.1.5. Piezoelektrik sensörler (PS)

Piezoelektrik sensörlerin çalışma prensibi, aracın sensör üzerinden geçişi sırasında oluşturduğu basınç veya titreşimin neden olduğu mekanik gerilimi algılamaya dayalıdır. Bu basınç veya titreşim, aracın ağırlığıyla orantılı olarak voltaj farkı oluşturan bir elektrik yüküne dönüştürülür (Şekil 4). Böylece ölçülen voltaj, algılanan aracın ağırlık ve aks konfigürasyonu açısından sınıflandırılmasında kullanılabilir. Bu tür sensörler genellikle yüksek basınç ve sıcaklık seviyelerine duyarlıdır. Doğrulukları büyük ölçüde kullanılan malzemenin tipine (seramik veya kristal) ve kesilme şekline bağlıdır. Daha doğru ölçümler için bu sensörlerin birkaçı aynı anda kullanılmalıdır (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Idris vd.,2009; Kotb vd.,2017).



Şekil 4. Piezoelektrik sensörler (Federal Highway Administration, 2022).

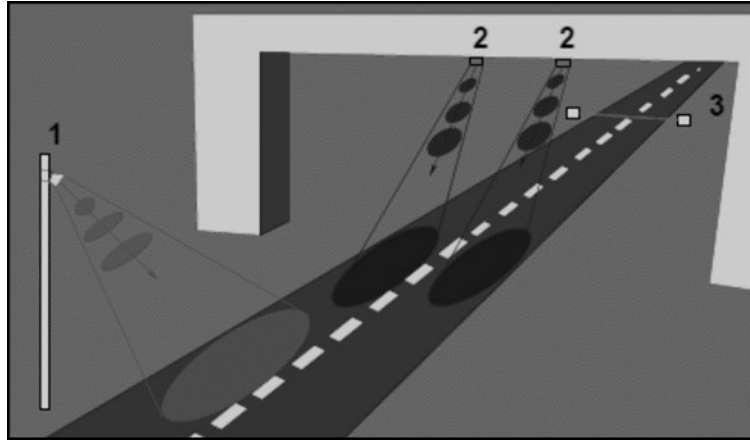
Literatürde AOS için PS kullanımına ait birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Nagakalyan ve ark. çalışmalarında park şeridi girişine bir piezoelektrik malzeme monte edilmiştir. Kurulan sistemin amacı, aracın sisteme girişini tespit etmektir. Böylece park doluluk tespiti yapan PS sistemi geliştirmişlerdir (Nagakalyan ve Raghukumar, 2014). Jain ve ark. bir AOS için PS kullanarak elektrik üretebilen tasarım

geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri tasarımda otoparkın doluluğunu kızılötesi sensörlerle tespit ederken aynı zamanda park yerine yerleştirilen PS ile de manyetik alandaki dönüşümü kullanarak doluluk bilgisi veren led ışıkları için elektrik üretmeyi amaçlamışlardır (Jain ve Shambavi, 2021). Başka bir AOS tasarımında Lee ve ark. akıllı telefon ve tablet PC kullanıcılarının çeşitli uygulamalar aracılığıyla erişebileceği, mevcut park yerlerini Sosyal Ağ Hizmeti (SAH) kullanıcılarına bildiren bir sistem geliştirmeyi ve uygulamayı amaçlamıştır. Sistem, bir park bölgesinin girişinin her iki tarafına monte edilen ve trafik akış yönünü tespit eden bir dizi hız tümseğine gömülü piezoelektrik sensörün yanı sıra bir Pasif Kızılötesi Sensörden (PKS) oluşmaktadır. PS ve PKS birlikte işletilerek otomobilleri, yayalar gibi diğer hareketli nesnelere ayırt edebilen bir bütünleşik sensör sistemi tasarlamışlardır. Bu bütünleşik sensör sistemi, yüksek doğrulukta sinyal sayımı yaparak otomobillerin giriş ve çıkışını takip eder. Sinyaller filtrelenme ve modüle edilme sürecinden geçtikten sonra, bölgedeki mevcut park yeri sayısını Wi-Fi aracılığıyla bir internet sunucusuna oradan da bir SAH uygulamasına gönderir. Daha sonra kullanıcılar akıllı telefonlarına veya tablet PC'lerine yüklenen SAH uygulaması aracılığıyla park bilgilerine erişebilirler (Lee vd.,2013).

1.2. Harici (Non-Intrusive) araç tanıma teknolojileri

Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri (HATS) araç tespiti yapılacak bölgeye kolaylıkla kurulabilen, uygulama esnasında yol yüzeyine tahribat gerektirmeyen sistemlerdir. Dahili araç tanıma sistemlerinden farklı olarak HATS'ler, montajı sırasında yapıya zarar vermez ve trafik akışının durmasına neden olmaz (Dogaroglu, 2019; Kastrinaki vd.,2003; Mimbela ve Klein, 2000).

Çoğu HATS, Şekil 5'te gösterildiği gibi, çeşitli lokasyonlara yerleştirilebilen, hava koşullarına dayanıklı bir koruyucu içine monte edilmiş küçük elektronik ünitelerden oluşan ve uygulama ve görsel olarak birbirine benzerlik gösteren ekipmanlardan oluşur (Dogaroglu, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Tom V Mathew, 2014).



Şekil 5. HATS teknoloji yapılandırılmaları (Tom V Mathew, 2014).

Şekil 5'te görülen HATS uygulamalarının ilk tipi yol kenarındaki direklere monte edilen sistemlerdir. Detektör, direğe monte edilen ünitenin ilerisinde veya gerisinde eğik bir alanda araç tespiti yapar. Bu tip HATS'lerde, yüksek araçların alçak araçları perdelemesi veya izlenen alan dışındaki araçların da tespit edilmesine neden olan gereğinden fazla görüş açısı genişliği nedeni ile oluşan kör nokta sorunları mevcuttur (Dogaroglu, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Idris vd.,2009; Tom V Mathew, 2014).

Şekil 5'te görülen ikinci tip HATS detektörleri, köprü altlarına monte edilmektedir. Araç tespit alanı doğrudan ünitenin hemen altında, hafif eğimli olarak ilerisinde veya gerisindedir. Şekil 5'te görülen üçüncü tip HATS detektörleri, yolun eni boyunca bir ışın yayarak araç tespiti yapan yol kenarına monte edilmiş ekipmanlardan oluşur. Bu tip detektörler, yan yana maskeleyme yöntemi ile araç tespiti yaptıkları için sadece tek şeritli, tek yönlü akışlar için uygundur (Dogaroglu, 2019; Idris vd.,2009; Tom V Mathew, 2014).

Yaygın olarak kullanılan 6 adet HATS teknolojisinden bahsetmek mümkündür. Bunlar:

- Video görüntü işlemcisi,
- Pasif veya aktif kızılötesi detektörler,
- Mikrodalga radar detektörleri,
- Ultrasonik detektörler,
- Akustik detektörler ve
- Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID) Sistemleri'dir.

Çalışmanın bundan sonraki kısmında bu 6 adet HATS hakkında bilgiler verilmiş ve otoparklar araç tespiti için avantaj/dezavantajları belirtilmiştir.

1.2.1. Video görüntü işlemcisi (VGİ)

Kameralı detektör sistemleri, park yeri şeritlerinin kullanılabilirliğini algılayan sistemlerdir. Sistemde kullanılan kameralar, park yeri şerilerinin arasının boş veya rezerve olup olmadığını kontrol etmek için sürekli olarak park bölgesinin görüntüsünü kayıt altında tutar (SR, 2015). Sistem kameraları, tüm park alanının net bir şekilde görülebileceği tavana veya yüksekte bir noktaya sabitlenir (Sarangi vd.,2019). Chen ve Hsu yaptıkları çalışmada, kameralı sistem ile park şeritlerinin doluluğunun veya uygunluğunun daha doğru tespit edilebileceğini belirtmiştir (Chen ve Hsu, 2017).

Park yeri kameraları tarafından çekilen görüntüler, araçları tespit etmek ve park yerinin doluluk durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. VGİ sistemi genellikle, bir dizi geçmiş görüntü kaydını kullanarak geliştirilen makine öğrenme model ile birlikte araçları ve park yerlerini gerçek zamanlı olarak algılamak için yerleştirilmiş kamera görüntülerini analiz ederek oluşturulan bir sistemdir. Kameranın görüş alanı sabitse, park yerlerinin doluluğunu belirlemek önemli lde basitleşir. Sabit bir kamera ile park yerlerini tanımlamak için ön işleme aşamasında elde edilen bir görüntü manuel olarak bölümlere ayrılabilir ve ayrılan bölümler, kamera görüş açısını değişmediği sürece tüm görüntüler için geçerli olacaktır. Bölümlere ayırma yönteminin amacı, araç algılama işlemine daha basit bir görüntü sınıflandırma işlemine indirgemektir. Geliştirilen model, park şeritleri arasındaki alana karşılık gelen her bir alt görüntüye uygulanır ve şeritler arası alan "araç" veya "boş" olmak üzere iki kategoriden birinde sınıflandırılır. En gelişmiş derin öğrenme yöntemlerini ve evrişimli sinir ağlarını kullanarak alt görüntülerin sınıflandırılmasında %99'a varan doğruluğa ulaşılabilir (Acharya vd.,2018; Valipour vd.,2016). Kamera kullanarak kaydedilen park yeri görüntü işlenmesi içi, büyük bant genişliklerinin sürekli aktarımını gerektirdiğinden ideal değildir. Bu nedenle, otoparkın sürekli izlenebilmesini kolaylaştırmak için bir videonun düzenli aralıklarla ve resim karesi hızlarında görüntülere bölünmesi gerekir (Enriquez vd.,2017)

Kameralar genellikle tavana veya yükseğe kurulur ve hem kapalı hem de açık otoparklarda kullanılabilir. Kameralar nispeten ucuz olduğundan ve bir kamera birden fazla park yerini izleyebildiğinden görüntü tabanlı park doluluk tespiti düşük maliyetle yüksek doğruluk sağlar. Ancak, pasif sensörler olarak kameralar ortam ışığına veya ayrı bir ışık kaynağına gereksinim duyar. Diğer bir önemli sınırlama ise, optimum performansı elde etmek için kurulumdan önce elde edilen görüntüler ile bir makine öğrenme modelinin oluşturulması gerektiğinden, VGİ sistemlerinin tipik bir tak ve alıştır uygulaması olmamasıdır. Ayrıca, evresel koşullara dayanıklılığı artırmak için makine öğrenimi modeli, çeşitli aydınlatma ve hava koşullarında (r. yağmur, kar, sis ve düşük ışık) yakalanan görüntüler üzerinden oluşturulmalıdır. Bu sistemler, perdeleme, gölgeleme, görsel bozulma ve yıldırım etkisi gibi dış sınır etkenlerine karşı zafiyet göstermektedir. Bu sınırlamanın üstesinden gelmek için, yapılan çalışmalarda (de Almeida vd.,2015), belirli bir otopark ortamında çekilen görüntülerden oluşan genel veri kümesi üzerinden oluşturulmuş PKLot gibi bir makine öğrenme modelinin transfer öğrenme (transfer learning) ile uygulanabilirliğini araştırmıştır. Acharya ve ark., bu yaklaşımın olduğa iyi performans gösterdiğini, ancak elde edilen %97'lik doğruluğun, aynı özelliğe sahip otopark görüntüleri üzerinde oluşturulmuş bir modelden biraz daha düşük olduğunu (%99) göstermiştir (Acharya vd.,2018).

Görüntü tabanlı park doluluk tespiti, aydınlatmaya ve kötü hava koşullarına duyarlılığı nedeniyle orta düzey güvenilirlikle yüksek algılama imkanı sağlar. Kameraların kurulumu ve bakımı nispeten

ucuzdur. Ayrıca, birçok durumda önceden var olan güvenlik kamerası ağları, otopark doluluk tespiti için kullanılabilir (Sarangi vd.,2019; Winter ve Goel, 2021).

1.2.2. Pasif veya aktif kızılötesi detektörler

Kızılötesi sensörler, kızılötesi ışınımı yayar ve nesne yüzeyinden yansıtılarak geri dönen ışınımı ölçer. Kızılötesi mesafe tayini geri dönen ışınım yoğunluğuna veya ışınım süresine bağlıdır. Yoğunluğa dayalı kızılötesi sensörleri nesne yüzeyinin yansıtıcılığına karşı hassastır ve bu nedenle daha az güvenilirdir. Diğer taraftan ışınım süresine dayalı kızılötesi sensörler kızılötesi lazer ışınımı yayar ve geri dönen ışınımının gidiş-dönüş süresini ölçerek bir mesafe ölçüsüne dönüştürür. Park halindeki bir aracın tespiti, ışınım süresine bağlı olarak ölçülen gidiş dönüş mesafesinin park yerinde araç bulunmadığında ölçülen mesafeyle karşılaştırılması ile yapılır.

Kızılötesi mesafe sensörleri yükseğe veya zemine monte edilebilir. Ancak, genellikle ortam ışığından etkilenmeye eğilimlidirler ve bu nedenle kapalı otoparklar için daha uygundur. Işınım süresi ile ölçüm yapan kızılötesi sensörleri ortam ışığına daha az duyarlıdır, ancak gün ışığı, dış mekânda yükseğe monte edilmiş bir kızılötesi sensörün performansını yine de olumsuz etkileyecektir. Yağmur ve kar gibi çevresel koşullar ve yaprak veya insani atıklar tarafından oluşacak engellenmeler de özellikle zemine monte edilmiş sensörler için kızılötesi mesafe tayin performansını etkiler.

Genel olarak, kızılötesi sensörleri, orta derecede doğru ancak çevresel koşullara duyarlılıkları nedeniyle daha az güvenilir olarak kabul edilir. Ayrıca nispeten pahalıdır, orta düzeyde güç tüketimine sahiptirler ve düzenli bakım gerektirirler (Winter ve Goel, 2021).

Kızıl ötesi sensörleri algılama şekillerine göre aktif ve pasif olmak üzere iki sınıfta incelenebilirler:

Aktif kızılötesi sensör (AKS): Bu sensörler kızılötesi enerji yayar ve yansıyan enerji miktarına göre herhangi bir nesne veya aracı tespit eder (Mouskos, Boile, Parker, vd.,2007; Shaheen, 2005). Kızılötesi radyasyonun dalga boyu 0,75 ila 1000 µm arasındadır. AKS'ler park yerindeki araç varlığını tespit etmek için kullanılır (Sarangi vd.,2019). Yağmur veya kar gibi çevresel değişikliklere karşı hassastır. Tüm park yerlerine yerleştirilmeleri gerektiğinden yüksek yatırım ve bakım maliyeti vardır. Sensörlerin tüm park yerlerine yerleştirilmesi, park doluluk durumunun elde edilmesi için gereklidir. AKS'ler genellikle yükseğe yerleştirilir ve kapalı otoparklar için uygundur. Çevresel değişikliklere duyarlı oldukları için açık otoparklar için uygun değildir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Paidi vd.,2018).

Pasif kızılötesi sensör (PKS): Pasif kızılötesi sensörler, bir nesne ile çevresindeki ortam arasındaki sıcaklık farkını algılayarak çalışır (Song vd.,2008). Belirli bir hızda kızılötesi dalgaları yayan aktif kızılötesi sensörlerinin aksine, pasif sensörler, araç ve/veya yol tarafından yayılan termal enerji biçimindeki sıcaklık farkını ölçerek park yerinin boşluğunu tespit eder. Bu nedenle PKS, araç yalnızca sensörün algılama bölgesinin yakınında olduğunda tetiklenir. Diğer sensör tiplerinden farklı olarak PKSlerin zemine veya duvara sabitlenmesine veya montajı için delik açılmasına gerek yoktur. Ancak bu sensörler otoparkta tavana monte edilir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Someswar vd.,2017). PKS çok hassas bir detektördür ve kar, yağmur gibi kötü ortam koşullarında doğru tespit yapamaz (Paidi vd.,2018). Tavana monte edilen PKS için en uygun uygulama alanı kapalı otoparklardır (Sarangi vd.,2019).

1.2.3. Mikrodalga radar detektörleri (MRD)

MRD bir anten yardımıyla 1-50 GHz arasındaki frekansları ileten ve genellikle araçtan yansıyan frekanstan araçları algılayabilen bir detektör teknolojisidir. Yaygın olarak kullanılan iki tip mikrodalga radar bulunmaktadır; Doppler Mikrodalga Dedektörleri (DMD) ve Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalgalar (FMSD) ((Al-Turjman, 2018; Al-Turjman ve Malekloo, 2019). MRD mikrodalga ışını iletir ve yansıyan sinyale göre hareketli hedefin hızını tahmin eder. Ancak, sabit nesnelere algılayamaz. Bu kısıtlamayı ortadan kaldırmak amacı ile hem hareketli hem de duran araçları tespit etmek için çift mikrodalgalı DMD kullanılabilir (Bao vd.,2016; Paidi vd.,2018). DMD'de, araç ve sensör birbirine yakın olduğunda, sensör daha düşük bir frekans algılar. Araç ve sensör birbirlerinden uzaklaştıklarında, sensörün yakaladığı frekans daha da artar. Araç hareketi olmazsa Doppler kayması yaşanmaz ve sabit bir frekans aralığı iletilir. Bu durumda sensör, araca olan mesafeyi ölçebilir ve aynı zamanda bu bir araç varlığını tespit eder (Al-Turjman ve Malekloo, 2019).

MRD'nin kızılötesi ve ultrasonik dalgalara göre ana avantajı, düşük frekanslı radyo dalgalarının (1.5 ila 2 cm dalga boyuna karşılık gelen) havadaki küçük parçacıklardan etkilenmemesidir. Bu nedenle MRD rüzgar, yağmur, sis, nem ve hatta hafif kar gibi farklı hava koşullarında çalışabilir. Bu, MRD'yi hem kapalı hem de açık otoparklarda park doluluk tespiti için güvenilir bir sensör yapar. Yeraltına ve yer yüzeyine kurulumları daha yaygın olmasına rağmen, MRD'ler yükseğe de kurulabilirler (Winter ve Goel, 2021).

MRD, park doluluk tespitinde yüksek doğruluk ve yüksek güvenilirlik sağlar. Ancak, kızılötesi sensörlere kıyasla park doluluk durumunu optimum tespit etmek için her park yerine yerleştirilmeleri gerektiğinden daha pahalıdır ve daha fazla güç tüketirler. Bu nedenle radar sensörlerinin kurulum ve bakım maliyetleri nispeten yüksektir (Winter ve Goel, 2021).

1.2.4. Ultrasonik detektörler

Ultrasonik sensörler, bir nesneye olan mesafeyi ölçmek için ses dalgalarını kullanan aktif sensörlerdir. Ultrasonik bir sensör, ultra yüksek frekanslı (25 ile 50 KHz) ses dalgaları yayar ve bir nesnenin yüzeyinden yansıyan ses dalgasını algılar (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Guerrero-Ibáñez vd.,2018; Paidi vd.,2018; Winter ve Goel, 2021). Gidiş-dönüş süresi ölçülür ve ses dalgasının sabit hızlı olduğu varsayılarak nesneye olan mesafe hesaplanır. Ultrasonik bir sensör, sesin yansıyan yüzey ile olan mesafesini ölçerek bir aracın varlığını tespit edebilir. Basit bir algılama algoritması, araç varken ölçülen mesafeyi park yeri boşken ölçülen bir referans mesafeyle karşılaştırır. Ölçülen mesafe ile referans mesafe arasındaki mutlak fark yeterli bir süre için mesafe sınırından büyükse park edilmiş bir araç algılanır (Winter ve Goel, 2021). Benzer şekilde, aracın hızı ve belirli bir mesafedeki araç sayısı gibi diğer faydalı bilgileri de elde edilebilir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Kianpisheh vd.,2012).

Ultrasonik sensörler genellikle her bir park şeridi arasında tavana yerleştirilir ve montajı çok kolaydır (Idris vd.,2009; Sarangi vd.,2019). Rüzgâr, yağmur, kar ve sis gibi çevresel koşullar ultrasonik mesafe ölçümlerini etkileyebileceğinden kapalı otoparklar için daha uygundur. Ses hızı ayrıca nem ve hava sıcaklığına göre değişir ve bu da yanlış mesafe ölçümlerine neden olabilir. Pnömatik cihazlarda kullanılan basınçlı havanın çıkardığı ses gibi yüksek frekanslı gürültü oluşturabilecek sesler ve ses dalgalarının birden fazla yüzeyden yansıdığı çok yönlü ses efektleri ultrasonik sensörlerin performansını etkileyebilir. Daha düşük frekanslı ses dalgaları (20 KHz'in altında) kullanan akustik sensörler, ortam gürültüsüne karşı daha hassastır ve bu nedenle park yeri doluluk tespiti için daha az tercih edilmektedir. şekil 6'da temsili bir uygulaması gösterilmiştir.



şekil 6. Ultrasonik sensörler (Kianpisheh vd.,2012).

Ultrasonik sensörlerin algılama doğruluğu ve güvenilirliği, özellikle kapalı ortamlarda kurulan sensörler için genellikle yüksek kabul edilir. Düşük maliyetle temin edilebilir, ancak birden fazla sensörün kurulumu ve bakımı ve bunları bir şebekeye bağlamak uzun vadede maliyetlidir. Otopark doluluk bilgilerini toplamak için kablosuz ultrasonik sensörler de kullanılmaktadır. ZigBee protokolü

veya diğer benzer ağlar gibi kablosuz sensör ağları kullanılarak ağ bağlantısı yapılmaktadır (Paidi vd.,2018). Ayrıca orta düzeyde bir güç tüketimine sahiptirler ve düzenli bakım gerektirirler (Winter ve Goel, 2021). Mathur ve ark. yaptıkları çalışmada araç kullanırken park yeri doluluk bilgilerini toplayan araçlardan oluşan bir mobil sistem olan ParkNet'in tasarımını, uygulamasını ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Her ParkNet aracı, park yeri doluluğunu belirlemek için bir GPS alıcısı ve yolcu tarafına bakan bir ultrasonik telemetre ile donatılmıştır. 2 ay boyunca toplanan 500 mil yol kenarı park verisine dayanarak, park yeri sayımlarının %95 doğru olduğunu ve doluluk haritalarının %90'ın üzerinde doğruluk sağlayabildiğini belirtmişlerdir (Mathur vd.,2010).

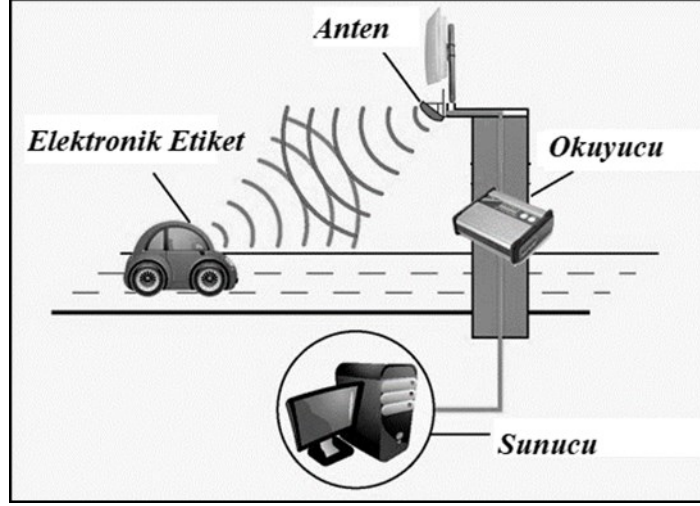
1.2.5. Akustik detektörler

Akustik sensörler, kapsama alanından geçen veya yaklaşan bir araç tarafından üretilen ses enerjisindeki artışı algılamak için kullanılan bir dizi mikrofondan oluşur (Guerrero-Ibáñez vd.,2018). Bir bilgisayar, araç geçişi esnasında mikrofon vasıtası ile tespit edilen ses seviyelerindeki değişimi analiz eder (Kotb vd.,2017). Bir akustik sensör, sesi oluşturan ses kaynağının veya sesi yansıtan reflektörün mesafesini ve yönünü belirlemek için belirli frekanslardaki sesi veya titreşimi algılar. Bu tip lokalizasyon tekniği pasif akustik lokasyon tekniği olarak bilinir (Armingol vd.,2018; Na vd.,2009). AOS'da, park yeri boşluğunu tespit etmek ve gözetleme amacıyla Akustik sensör kullanılır (Fahim vd.,2021).

Kumar ve Ark. yaptıkları çalışmada bir otoparkta akustik sensör sistemini incelemişlerdir. Park şeridi içerisindeki ses değişimlerini ölçerek araç varlığının tespitini incelemişlerdir. İlk aşamada, park çizgileri içerisinde araç olmadığı için ses sensörünün desibel değerleri düşüktür. şeritler arasına bir araç girdiğinde ses değerleri değişir ve bu da park şeritleri arasında bir araç olduğunu göstermektedir. Akistik sensör tarafından tespit edilen ses temel olarak araç motoru tarafından üretilir (Kumar vd.,2007). Bir başka çalışmada Na ve ark., akustik sensör-ağ tabanlı bir otopark güvenlik sisteminin tasarımını, uygulamasını ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Kurulan sistem, araç alarmları veya kaza sesleri gibi akustik olayların yerini tespit etmek için düşük maliyetli mikrofonlarla donatılmış sensör ağlarını kullanır. Akustik olayı yeri belirlendiğinde, güvenlik kamerası sistemi, kamera yönünü olaya doğru hareket ettirir ve tahmini konumu düzeltilir. Sistemin performansını doğrulamak için bir otoparkta kapsamlı deneyler yapmışlardır. Deneysel sonuçlar, sistemin otoparklardaki olayları tespiti için makul doğruluk ve performans sağladığı iddia edilmiştir (Na vd.,2009).

1.2.6. Radyo frekansı tanımlama (RFID) sistemleri

Radyo frekansı tanımlamasının kısaltması olan RFID (Radio Frequency Identification), radyo dalgalarını kullanarak küçük veri paketlerini ileten bir teknolojidir. Bu teknolojiye, bir RFID alıcısını ve RFID etiketini kapsayan bir radyo aktarım şekli kullanılır (Fahim vd.,2021). Otopark doluluk tespiti için araca RFID etiketi takılır ve araçla ilgili marka, model ve ruhsat bilgileri gibi bilgiler bu etiketin hafızasında depolanır. Araç, park yerine monte edilmiş bir okuyucunun menzili içine girdiğinde, okuyucu etiketi algılar, içinde depolanan verileri okur, aracı tanımlar ve park yerine park edip etmediğini belirler (Winter ve Goel, 2021). şekil 7'de RFID sistemine ait bir uygulama mimarisi gösterilmiştir.



şekil 7. RFID otopark sistemi (AsiaRFID, 2017).

RFID okuyucular hem kapalı hem de açık otoparklara kurulabilir. RFID okuyucuları için yüksek kurulum yaygın bir uygulama şeklidir. Otopark doluluk tespitinde RFID teknolojisinin en önemli dezavantajı, otoparkı kullanacak tüm araçlara RFID etiketlerinin takılmasını gerektirmesidir. Tüm araçlara etiket takma işlemi pahalıdır ve uygulanması lojistik açıdan karmaşıktır. AOS için RFID sensörlerinin lehine bir avantaj oluşturabilecek durum olarak, bazı şehirlerde birçok aracın halihazırda park doluluk tespiti için kullanılacak elektronik geçiş ücreti toplama sistemi dahilinde RFID etiketlerine sahip olması gösterilebilir (Winter ve Goel, 2021).

RFID sensörleri, doğru ve güvenilir park doluluk bilgisi sağlayabilir. RFID etiketleri, düşük güç tüketimine ve 3 ila 5 yıllık nispeten uzun bir pil ömrüne sahiptir (Winter ve Goel, 2021). RFID teknolojisi, araç ve kullanıcı tanımlaması için AOS’de çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Atta vd.,2020; Fahim vd.,2021; Karbab vd.,2015). RFID sistemini de kapsayan hibrit sistemlerin sadece RFID’in kullanıldığı sistemlere göre daha fazla güvenilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Al-Turjman ve Malekloo, 2019; Karbab vd.,2015).

Literatürde yapılan araştırmalarda(Pala ve Inanc, 2007; Thorat vd.,2017), RFID sensörü ile otopark giriş ve çıkış noktalarında araçları durdurmadan algılama yapan sistemler incelenmiştir. Otoparka araç girişi anında sistem aracın kayıtlı veya kayıtsız olup olmadığını kontrol eder ve kayıtlı ise aracın park etmesine girmesine izin verir. Otoparktan ayrılma esnasında sistem aracın otoparka giriş saatini kontrol eder, toplam park süresini tespit eder ve park ücretini hesaplar.

RFID sistemlerinde menzil sınırlaması nedeniyle okuyucu ile etiket arasındaki mesafeler son derece önemlidir (Pala ve Inanc, 2007). Ayrıca, park yerlerindeki araçlara ve okuyuculara RFID etiketlerinin takılması karmaşık ve pahalıdır. Bununla birlikte, AOS çözümleri için RFID sensörlerinin bakım maliyeti hem araçlardaki etiketler hem de park yerlerindeki okuyucular için bakım ihtiyaçları nedeniyle nispeten yüksektir (Winter ve Goel, 2021).

2. AOS araç tanıma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

AOS’da kullanılan sistem ve araç tanıma teknolojilerinin uygulama koşullarına bağlı olarak avantajları ve dezavantajları Tablo 1’de verilmiştir. Uygulanacak sistem ve araç tanıma teknolojilerinin etkinliği ve verimliliği için, avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak kullanım amaç ve şartlarına uygun seçim yapılması ve tasarlanması önemlidir.

Tablo 1. Sensör teknolojilerinin topladığı veri türleri, avantajları ve dezavantajları

Uygulama şekli	Sensör teknolojisi	Uygulama alanı	Avantaj	Dezavantaj
	İndüksiyon sarmalı sensörleri	Kapalı Otopark	Güvenilir veri, hava şartlarına dayanıklı, çevre şartlarından etkilenmez	Trafik yüküne ve sıcaklık değişimlerine hassasiyet, çabuk yıpranma, pahalı kurulum ve bakım, kaplamaya zarar verme
	Magnetometreler	Açık ve Kapalı Otopark	Güvenilir, istenmeyen hava koşullarına dayanıklı, kablosuz bağlantı ile pil gücüyle çalışabilme, mekanik dayanıklılık, düşük maliyet	Araç tanıma için yakın olma gerekliliği, kurulum, kaplamaya zarar verme
Dahili (intrusive)	Manyetik dirençli sensörler	Açık, Kapalı ve Yol kenarı Otoparkları	Çevresel etkilere ve hava koşullarına dayanıklı, basit kurulum, kolay bakım, düşük maliyet	Pozisyona ve oryantasyona duyarlılık, kaplamaya zarar verme
	Pnömatik tüplü sensörler	Kapalı Otopark	Düşük maliyetli çözüm, hızlı ve kolay kurulum, kolay bakım	Güvenilirlik sorunu, sadece giren-çıkan araç sayımı, sıcaklık hassasiyeti, Vandalizm, kaplamaya zarar verme
	Piezoelektrik sensörler	Kapalı Otopark	Elektrik üretimi	Güvenilirlik sorunu, basınç ve sıcaklığa duyarlı, kaplamaya zarar verme

Tablo 1. (Devamı) Sensör teknolojilerinin topladığı veri türleri, avantajları ve dezavantajları

Uygulama şekli	Sensör teknolojisi	Uygulama alanı	Avantaj	Dezavantaj
Harici (non-intrusive)	Video görüntü işlemcisi	Açık, Kapalı ve Yol kenarı Otoparkları	Güvenilir, bölgeye algılama yapabilme kabiliyeti, mevcut ekipmanı kullanabilme, algılama bölgelerine kolay ekleme ve değiştirme imkânı	4 kadar 15 metre yukarısına montaj gereksinimi, aydınlatma gereksinimine dayalı sistem performansını, çevresel etkilere hassas
	Pasif veya aktif kızılötesi detektörler	Kapalı Otopark	Birden çok park yeri (park şeritleri arası) tespiti yapılabilir.	Hava koşullarına hassasiyet, kurulum ve bakım maliyeti, güç tüketimi
	Mikrodalga radar detektörleri	Açık ve Kapalı Otopark	Hava koşullarına dayanıklılık, güvenilirlik	Yüksek kurulum ve bakım maliyeti
	Ultrasonik detektörler	Kapalı Otopark	Kolay montaj, esneklik	Hava koşullarına ve çevresel etkilere karşı hassasiyet, bakım maliyeti
	Akustik detektörler	Kapalı Otopark	Pasif sensör (dış etkileri dinleyen)	Hava koşullarına hassasiyet
	Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID)	Açık ve Kapalı Otopark	Güvenilirlik, mevcut ekipmanı kullanabilme	Tüm araçlara etiket uygulaması, ilk kurulum maliyeti

3. Tartışma

Tablo 2’de verilen literatürde de görüldüğü gibi AOS’da farklı sensörlerin kullanım oranlarına bakıldığında kameralı sistemlerin en çok kullanılan araç tanıma sistemi olduğu görülebilir. Sensör teknolojilerinin kullanım deneyimlerine göre avantajlarına ve dezavantajlarına bakıldığında kamera ağının kurulum maliyeti yüksek olmasına rağmen, geniş bir denetim alanı sağlayabilir ve belirli bir alanda gereken sensör sayısını azaltabilir. Sonuç olarak, kamera sistemleri sayesinde diğer araç algılama sensörlerinin (kızılötesi sensörler, ultrasonik sensörler vb.) gerekliliği neredeyse sıfıra inmektedir. Kameralı sistemler ayrıca, genel güvenliği artıran güvenlik kontrol sistemleri ve plaka tespit imkanı da sağlamaktadır (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Kamerallı sistemlerden sonra Ultrasonik ve RFID sensörler, ikinci en çok kullanılan sensörlerdir. Ultrasonik sensörler, esas olarak gerçek zamanlı otopark doluluk durumu verisi için araç tespitinde kullanılır. Ancak bu tür bir sensör çevresel değişikliklere hassastır. Bu nedenle bu tip sensörler kapalı otoparklar için daha uygundur. RFID sensörü, sık kullanılan bir diğer sensördür. RFID sensörü gerçek zamanlı araç doluluk durum bilgisini tam olarak sağlayamasa da otopark ücreti için otomatik ödeme, araç güvenliği ve kimlik doğrulaması gibi olanakları sağlayabilmektedir (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Geri kalan diğer sensörlerin çoğu, maliyet/performans dengesi veya daha yüksek kurulum ve bakım maliyeti nedeniyle daha az oranda kullanılmaktadır. Uygulama açısından bakıldığında kızılötesi sensörlerinin kullanımda üçüncü sırada gelmektedir. Kızılötesi sensörler düşük maliyetli olmasına rağmen tespit yetenekleri çevresel değişikliklere karşı hassastır ve kapalı otopark tesisleri için uygundur (Fahim vd.,2021; Paidi vd.,2018).

Tablo 2. Sensör teknolojileri üzerine literatür araştırması

Sistem sınıfı	Sensör	Literatür
Dahili (intrusive) Araç Tanıma Sistemleri	İndüksiyon sarmalı sensörleri	(Amato vd.,2016, 2017; Baroffio vd.,2015; Luque-Vega vd.,2020; Masmoudi vd.,2014; Mukadam ve Logeswaran, 2020; Singh ve Divya Jyothi, 2013; Thangam vd.,2018)
	Magnetometreler	(Fúra vd.,2016; Vuk ve Andročec, 2022; Zhang vd.,2018)
	Manyetik dirençli sensörler	(Shi vd.,2017; Suryady vd.,2014)
	Pnömatik tüplü sensörler	(Martin vd.,2003)
Harici (non-intrusive) Araç Tanıma Sistemleri	Piezoelektrik sensörler	(Okia, 2020; Thakur vd.,2021; Yan vd.,2008)
	Video görüntü işlemcisi	(Abdulkader vd.,2018; Bura vd.,2018; Geng ve Cassandras, 2012; Grodi vd.,2016; Joon ve Jaidev, 2022; Karbab vd.,2015; Khanna ve Anand, 2016; Loong vd.,2019; Luque-Vega vd.,2020; ManjushaPatil, 2013; Mohandes vd.,2019; Prasetyo vd.,2021; Sahfutri vd.,2018; SR, 2015; Sudhakar vd.,2021; Suhr ve Jung, 2013; Vera-Gómez vd.,2016; Zadeh ve Cruz, 2016)
	Pasif veya aktif kızılötesi detektörler	(Chippalkatti vd.,2018; Gandhi ve Rao, 2016; Luque-Vega vd.,2020; Mukadam ve Logeswaran, 2020; Vera-Gómez vd.,2016; Yang vd.,2012; Yee ve Rahayu, 2014)
	Mikrodalga radar detektörleri	(Bao vd.,2016)
	Ultrasonik detektörler	(Bagenda ve Parulian, 2018; Degerman vd.,2007; Jeon ve Seo, 2019; Jeong vd.,2010; Kepuska ve Alshamsi, 2016; Kianpishah vd.,2012; Park vd.,2008; Sahfutri vd.,2018; Shao vd.,2018)
	Akustik detektörler	(Hilmani vd.,2018; Karbab vd.,2015)
	Radyo Frekanslı Tanımlama (RFID)	(Anusooya vd.,2017; Aye vd.,2019; Giri ve Mhetre, 2018; Mazlan vd.,2018; Pala ve Inanc, 2007; Saeliw vd.,2019; Shimi vd.,2020; Thorat vd.,2017; Zhou ve Li, 2016)

4. Sonuç

Çalışmada AOS'un önemli bileşeni olan araç tanıma teknolojileri tanıtılmış ve bu teknolojilerin uygulama avantajları ve dezavantajları vurgulanmıştır. Araç tanıma teknolojileri sınıflandırılırken uygulama kolaylıklarına göre dahili ve harici sistemler olarak ikiye ayrılmıştır. Tanıtılan teknolojiler maliyet, uygulama kolaylığı ve farklı şartlarda araç tanıma yetenekleri açısından kıyaslanmıştır. Buna göre, kameralı sistemlerin diğer teknolojilere göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Kameralı sistemleri, avantajları bakımından Ultrasonik ve RFID sistemlerin takip ettiği belirtilmiştir. Unc sırada ise kızılltesi sistemlerin tercih edildiği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra her bir teknolojinin uygulama avantajları ve dezavantajları düşünülerek hangi şartlarda uygulanabilecekleri belirtilmiş olup sistem uygulayıcılarına detektör teknolojisi seçimi sırasında kılavuz olarak yararlanılabilecek bir kaynak sunulmuştur. Çalışma daha sonra yapılabilecek AOS çalışmalarında, araç tanıma teknolojisi seçimi ve buna bağlı olarak sistem performansının ölçülmesi gibi çalışmalara öncülük edebilmeyi amaçlamaktadır.

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.

ıkar atışması Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar atışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Abdulkader, O., Bamhdi, A. M., Thayananthan, V., Jambi, K., & Alrasheedi, M. (2018). A novel and secure smart parking management system (SPMS) based on integration of WSN, RFID, and IoT. *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*, 102–106.

Acharya, D., Yan, W., & Khoshelham, K. (2018). Real-time image-based parking occupancy detection using deep learning. *Research@ Locate*, 4, 33–40.

Al-Kharusi, H., & Al-Bahadly, I. (2014). Intelligent parking management system based on image processing. *World Journal of Engineering and Technology*, 02(02), 55–67. <https://doi.org/10.4236/wjet.2014.22006>

Al-Turjman, F. (2018). Mobile couriers' selection for the smart-grid in smart-cities' pervasive sensing. *Future Generation Computer Systems*, 82, 327–341.

Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101608.

Amato, G., Carrara, F., Falchi, F., Gennaro, C., Meghini, C., & Vairo, C. (2017). Deep learning for decentralized parking lot occupancy detection. *Expert Systems with Applications*, 72, 327–334.

Amato, G., Carrara, F., Falchi, F., Gennaro, C., & Vairo, C. (2016). Car parking occupancy detection using smart camera networks and deep learning. *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, 1212–1217.

Anusooya, G., Jackson, J. C., Sathyarajasekaran, K., & Kannan, K. (2017). RFID based smart car parking system. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(17), 6559–6563.

Arab, M., & Nadeem, T. (2017). Magnopark-locating on-street parking spaces using magnetometer-based pedestrians' smartphones. *2017 14th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, 1–9.

Armingol, J. M., Alfonso, J., Aliane, N., Clavijo, M., Campos-Cordobés, S., de la Escalera, A., del Ser, J., Fernández, J., Garcıa, F., Jiménez, F., & others. (2018). Environmental perception for intelligent vehicles. *Intelligent Vehicles*, 23–101.

Url-1 <<https://www.asiarfid.com/index.php?route=rfid-journal/how-to-track-vehicles-with-rfid.html>> 22.03.2022

Atta, A., Abbas, S., Khan, M. A., Ahmed, G., & Farooq, U. (2020). An adaptive approach: Smart traffic congestion control system. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 32(9), 1012–1019.

Aye, K. N., Oo, P. Z., & Naing, W. W. (2019). RFID based automatic multistoried car parking system. *Int. J. Sci. Engineer. Applicat.*, 8(7), 172–175.

Bagenda, D. N., & Parulian, C. (2018). Online information of parking area using ultrasonic sensor through wifi data acquisition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1), 12011.

Url-2 <<https://www.bannerengineering.com/tr/tr/company/expert-insights/3-advantages-wireless-magnetometer-vehicle-detection.html>> 05.02.2022

Bao, X., Zhan, Y., Xu, C., Hu, K., Zheng, C., & Wang, Y. (2016). A novel dual microwave Doppler radar based vehicle detection sensor for parking lot occupancy detection. *IEICE Electronics Express*, 13–20161087.

Baroffio, L., Bondi, L., Cesana, M., Redondi, A. E., & Tagliasacchi, M. (2015). A visual sensor network for parking lot occupancy detection in smart cities. *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 745–750.

Bura, H., Lin, N., Kumar, N., Malekar, S., Nagaraj, S., & Liu, K. (2018). An edge based smart parking solution using camera networks and deep learning. *2018 IEEE International Conference on Cognitive Computing (ICCC)*, 17–24.

Chen, J.-Y., & Hsu, C.-M. (2017). A visual method for the detection of available parking slots. *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2980–2985.

Chinrungrueng, J., Sunantachaikul, U., & Triamlumlard, S. (2007). Smart parking: an application of optical wireless sensor network. *SAINT - 2007 International Symposium on Applications and the Internet - Workshops, SAINT-W*, 66. <https://doi.org/10.1109/SAINT-W.2007.98>

Chippalkatti, P., Kadam, G., & Ichake, V. (2018). I-SPARK: IoT based smart parking system. *2018 International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT)*, 473–477.

de Almeida, P. R. L., Oliveira, L. S., Britto Jr, A. S., Silva Jr, E. J., & Koerich, A. L. (2015). PKLot—A robust dataset for parking lot classification. *Expert Systems with Applications*, 42(11), 4937–4949.

Degerman, P., Pohl, J., & Sethson, M. (2007). *Ultrasonic sensor modeling for automatic parallel parking systems in passenger cars.*

Dogaroglu, B. (2019). *Akilli otopark sistemi uygulamalari üzerine bir inceleme.*

Dogaroglu, B., & Caliskanelli, S. P. (2020). Investigation of car park preference by intelligent system guidance. *Research in Transportation Business & Management*. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100567>

Dogaroglu, B., Caliskanelli, S. P., & Tanyel, S. (2021). Comparison of intelligent parking guidance system and conventional system with regard to capacity utilisation. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103152.

Elaouad, S., Benmakhlof, S., Tobaji, N., Dmini, M. A., & Alj, Y. S. (2015). Car parking management system using AMR-sensor technology. *2015 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)*, 414–418.

Enriquez, F., Soria, L. M., Álvarez-García, J. A., Velasco, F., & Déniz, O. (2017). Existing approaches to smart parking: An overview. *International Conference on Smart Cities*, 63–74.

Fahim, A., Hasan, M., & Chowdhury, M. A. (2021). Smart parking systems: comprehensive review based on various aspects. *Heliyon*, 7(5), e07050.

Url-3 <<https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/vdstits2007/04pt2.cfm>>, 05.12.2021

Fúra, V., Petruca, V., & Platil, A. (2016). Construction of an AMR magnetometer for car detection experiments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 108(1), 12028.

Gandhi, B. M. K., & Rao, M. K. (2016). A prototype for IoT based car parking management system for smart cities. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(17), 1–6.

G.C, S., Shirabadagi, S., & Hegadi, R. (2014). High Density Traffic Management using Image background subtraction Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 10–15.

Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2012). A new “smart parking” system infrastructure and implementation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 54, 1278–1287.

Giri, S. J., & Mhetre, N. A. (2018). *Smart car parking by using RFID code tracking*.

Grodi, R., Rawat, D. B., & Rios-Gutierrez, F. (2016). Smart parking: Parking occupancy monitoring and visualization system for smart cities. *SoutheastCon 2016*, 1–5.

Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors (Switzerland)*, 18(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s18041212>

Hilmani, A., Maizate, A., & Hassouni, L. (2018). Designing and managing a smart parking system using wireless sensor networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 7(2), 24.

Idris, M. Y. I., Leng, Y. Y., Tamil, E. M., Noor, N. M., & Razak, Z. (2009). Car park system: a review of smart parking system and its technology. *Information Technology Journal*, 8(2), 101–113.

Jain, A., & Shambavi, K. (2021). Energy Efficient Smart Parking System Using Piezoelectric Material And Sensors. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 03(05), 3148–3150.

Jeon, S., & Seo, D. (2019). Smart parking system based on an ultrasonic sensor and bluetooth low energy in the internet of things. *J. Syst. Manag. Sci*, 9, 91–110.

Jeong, S. H., Choi, C. G., Oh, J. N., Yoon, P. J., Kim, B. S., Kim, M., & Lee, K. H. (2010). Low cost design of parallel parking assist system based on an ultrasonic sensor. *International Journal of Automotive Technology*, 11(3), 409–416.

Joon, R. K., & Jaidev, S. (2019). *Optimization of Space for Smart Parking using Artificial Intelligence: A Brief Reviews*.

Karbab, E., Djenouri, D., Boulkaboul, S., & Bagula, A. (2015). Car park management with networked wireless sensors and active RFID. *2015 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*, 373–378.

Kastrinaki, V., Zervakis, M., & Kalaitzakis, K. (2003). A survey of video processing techniques for traffic applications. *Image and Vision Computing*, 21(4), 359–381. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(03\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(03)00004-0)

Kepuska, V., & Alshamsi, H. (2016). Smart car parking system. *International Journal of Science and Technology*, 5(8), 390–395.

Khanna, A., & Anand, R. (2016). IoT based smart parking system. *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*, 266–270.

Kianpisheh, A., Mustaffa, N., Limtrairut, P., & Keikhosrokiani, P. (2012). Smart parking system (SPS) architecture using ultrasonic detector. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 6(3), 55–58.

Kotb, A. O., Shen, Y., & Huang, Y. (2017). Smart parking guidance, monitoring and reservations: a review. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(2), 6–16.

- Kumar, R., Chilamkurti, N. K., & Soh, B.** (2007). A comparative study of different sensors for smart car park management. *The 2007 International Conference on Intelligent Pervasive Computing (IPC 2007)*, 499–502.
- Lee, T. J., Choi, H., & Lee, H.** (2013). Parking status SNS (Social Network Service) notification system. *2013 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 1–6.
- Lenz, J., & Edelstein, A. S.** (2006). Magnetic sensors and their applications. *IEEE Sensors Journal*, 6(3), 631–649. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2006.874493>
- Loong, D. N. C., Isaak, S., & Yusof, Y.** (2019). Machine vision based smart parking system using Internet of Things. *Telkomnika*, 17(4), 2098–2106.
- Luque-Vega, L. F., Michel-Torres, D. A., Lopez-Neri, E., Carlos-Mancilla, M. A., & González-Jiménez, L. E.** (2020). Iot smart parking system based on the visual-aided smart vehicle presence sensor: SPIN-V. *Sensors*, 20(5), 1476.
- ManjushaPatil, V. N. B.** (2013). Wireless Sensor Network and RFID for Smart Parking System. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: Www. Ijetae. Com (ISSN 2250-2459, ISO 9001: 2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 4.*
- Martin, P. T., Feng, Y., Wang, X., & others.** (2003). *Detector technology evaluation.*
- Masmoudi, I., Wali, A., Jamoussi, A., & Alimi, A. M.** (2014). Vision based system for vacant parking lot detection: Vpld. *2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, 2, 526–533.
- Mathur, S., Jin, T., Kasturirangan, N., Chandrasekaran, J., Xue, W., Gruteser, M., & Trappe, W.** (2010). Parknet: drive-by sensing of road-side parking statistics. *Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, 123–136.
- Mazlan, M. S., Hamid, I. R. A., & Kamaludin, H.** (2018). Radio Frequency Identification (RFID) Based Car Parking System. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 2(4–2), 318–322.
- Mimbela, L. E. Y., & Klein, L. A.** (2000). *Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems.* <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tvtw/vdstits.pdf>
- Mohandes, M., Deriche, M., Abuelma'atti, M. T., & Tasadduq, N.** (2019). Preference-based smart parking system in a university campus. *IET Intelligent Transport Systems*, 13(2), 417–423.
- Mouskos, K. C., Boile, M., & Parker, N.** (2007). *Technical solutions to overcrowded park and ride facilities* (U. T. R. Center, N. Jersey. Dept. of Transportation, & U. States. F. H. Administration, Eds.; p. 236). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/16240>
- Mouskos, K. C., Boile, M., Parker, N., & others.** (2007). *Technical solutions to overcrowded park and ride facilities.*
- Mukadam, Z., & Logeswaran, R.** (2020). A cloud-based smart parking system based on IoT technologies. *Journal of Critical Reviews*, 7(3), 105–109.
- Na, K., Kim, Y., & Cha, H.** (2009). Acoustic sensor network-based parking lot surveillance system. *European Conference on Wireless Sensor Networks*, 247–262.
- Nagakalyan, S., & Raghukumar, B.** (2014). Fabrication of car parking prototype using piezoelectric sensors. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 14(4), 26–30.
- Okia, E.** (2020). *A digital car park monitoring system for locating an empty space in a car park building.*
- Paidi, V., Fleyeh, H., Håkansson, J., & Nyberg, R. G.** (2018). Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: A review. In *IET Intelligent Transport Systems* (Vol. 12, Issue 8, pp. 735–741). Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0406>
- Pala, Z., & Inanc, N.** (2007). Smart parking applications using RFID technology. *2007 1st Annual RFID Eurasia*, 1–3.

- Park, W.-J., Kim, B.-S., Seo, D.-E., Kim, D.-S., & Lee, K.-H.** (2008). Parking space detection using ultrasonic sensor in parking assistance system. *2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 1039–1044.
- Prasetyo, B. A., Wibowo, A. P. W., & Suhendri, S.** (2021). Optimization Of Image Processing Techniques In Developing Of Smart Parking System. *Journal of Information Technology*, 3(1), 1–4.
- Revathi, G., & Dhulipala, V. R. S.** (2012). Smart parking systems and sensors: A survey. *2012 International Conference on Computing, Communication and Applications*, 1–5.
- Saeliw, A., Hualkasin, W., Puttinaovarat, S., & Khaimook, K.** (2019). *Smart Car Parking Mobile Application based on RFID and IoT*.
- Sahfutri, A., Husni, N. L., Nawawi, M., Lutfi, I., Silvia, A., Prihatini, E., & others.** (2018). Smart parking using wireless sensor network system. *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 117–122.
- Sarangi, M., Das, S. K., & Babu, K. S.** (2019). Smart parking system: survey on sensors, technologies and applications. *2019 1st International Conference on Advances in Information Technology (ICAIT)*, 250–255.
- Shaheen, S.** (2005). *Smart parking management field test: A bay area rapid transit (bart) district parking demonstration*.
- Shao, Y., Chen, P., & Cao, T.** (2018). A grid projection method based on ultrasonic sensor for parking space detection. *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 3378–3381.
- Shi, J., Jin, L., Li, J., & Fang, Z.** (2017). A smart parking system based on NB-IoT and third-party payment platform. *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 1–5.
- Shimi, A., Dishabi, M. R. E., & Azgomi, M. A.** (2020). *An Intelligent Parking Management System using RFID Technology based on User Preferences*.
- Shobhit Shanker, & Mahmud, S. M.** (2005). An intelligent architecture for metropolitan area parking control and toll collection. *IEEE Proceedings. Intelligent Vehicles Symposium, 2005.*, 723–728. <https://doi.org/10.1109/IVS.2005.1505189>
- Singh, D. N., & Divya Jyothi, U.** (2013). An Intelligent Parking Guidance and Information System with ARM9 Microcontroller. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 2, 234–239.
- Someswar, G. M., Dayananda, R. B., Anupama, S., Priyadarshini, J., & Shariff, A. A.** (2017). Design & development of an autonomic integrated car parking system. *CompuSoft*, 6(3), 2309.
- Song, B., Choi, H., & Lee, H. S.** (2008). Surveillance tracking system using passive infrared motion sensors in wireless sensor network. *2008 International Conference on Information Networking*, 1–5.
- SR, M. B.** (2015). Automatic smart parking system using Internet of Things (IOT). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(12), 629–632.
- Sudhakar, M. V., Reddy, A. V. A., Mounika, K., Kumar, M. V. S., & Bharani, T.** (2021). Development of smart parking management system. *Materials Today: Proceedings*.
- Suhr, J. K., & Jung, H. G.** (2013). Sensor fusion-based vacant parking slot detection and tracking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(1), 21–36.
- Suryady, Z., Sinniah, G. R., Haseeb, S., Siddique, M. T., & Ezani, M. F. M.** (2014). Rapid development of smart parking system with cloud-based platforms. *The 5th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M)*, 1–6.
- Thakur, R., Qureshi, M., Sarile, S., Pandit, S., & Tahlilani, L.** (2021). Smart Vehicle Monitoring and Control System using Arduino and Speed Gun: A Case Study. In *Computing Technologies and Applications* (pp. 279–300). Chapman and Hall/CRC.

- Thangam, E. C., Mohan, M., Ganesh, J., Sukesh, C. v, & Prof, A.** (2018). Internet of Things (IoT) based smart parking reservation system using raspberry-pi. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(8), 5759–5765.
- Thorat, S. S., Ashwini, M., Kelshikar, A., Londhe, S., & Choudhary, M.** (2017). IoT based smart parking system using rfid. *International Journal of Computer Engineering In Research Trends*, 4(1), 9–12.
- Tom V Mathew.** (2014). *Transportation systems engineering*. Cell Transmission Models, IIT.
- Valipour, S., Siam, M., Stroulia, E., & Jagersand, M.** (2016). Parking-stall vacancy indicator system, based on deep convolutional neural networks. *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 655–660.
- Vera-Gómez, J. A., Quesada-Arencibia, A., Garc'ia, C. R., Suárez Moreno, R., & Guerra Hernández, F.** (2016). An intelligent parking management system for urban areas. *Sensors*, 16(6), 931.
- Vuk, D., & Andročec, D.** (2022). Application of Machine Learning Methods on IoT Parking Sensors' Data. *Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology*, 157–164.
- Wang Longfei, Chen Hong, & Li Yang.** (2009). Integrating mobile agent with multi-agent system for intelligent parking negotiation and guidance. *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1704–1707. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138486>
- Winter, S., & Goel, S.** (2021). *Smart parking in fast-growing cities: Challenges and Solutions*. TU Wien Academic Press.
- Url-4** < <https://trafficparking.com.au/vehicle-counting-systems.php> > , 21.0.2022
- Yan, G., Olariu, S., Weigle, M. C., & Abuelela, M.** (2008). SmartParking: A secure and intelligent parking system using NOTICE. *2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, 569–574.
- Yan, G., Weigle, M. C., & Olariu, S.** (2009). A novel parking service using wireless networks. *2009 IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*, 406–411. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2009.5203967>
- Yang, J., Portilla, J., & Riesgo, T.** (2012). Smart parking service based on wireless sensor networks. *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 6029–6034.
- Yee, H. C., & Rahayu, Y.** (2014). Monitoring parking space availability via zigbee

Araştırma Makalesi

ISO 37120 standardı ulaşım göstergelerinin kanonik korelasyon analizi ile incelenmesi

Emrah Akdamar^{1*}

¹ Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Bandırma, Türkiye

*Sorumlu yazar: eakdamar@bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1128878

Özet: Kentlerde yaşayan nüfusun giderek artmasıyla birlikte pek çok alanda yönetsel problemler oluşmaktadır. Problemlere ilişkin bilimsel kararlar alabilmek için veri odaklı yönetim anlayışı benimsemek gerekmektedir. Kentin önemli göstergelerini belirlemek ve bu göstergeleri periyodik olarak izlemek, göstergeler arasında ilişkiler kurarak ortaya çıkan bulguları karar süreçlerine entegre etmek oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, kent göstergeleri konusunda uluslararası bir standart olan ISO 37120 standardı Ulaşım başlığında yer alan kent göstergeleri arasındaki ilişkileri incelemektir. Bu amaçla kanonik korelasyon analizinden yararlanılmıştır. Standartta “Ulaşım” anahtar performans göstergesi içerisinde yer alan 5 alt gösterge analize alınmıştır. Belirlenen 5 gösterge, girdiler ve çıktılar olmak üzere iki gruba ayrılmış, bu gruplar üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir. İlgili iki küme arasında 0.741 olarak hesaplanan kanonik korelasyon katsayısı anlamlı bulunmuştur. Toplu taşıma kullanımını arttıran unsurun, otobüs, hafif raylı tramvayla, trolleybüs gibi düşük kapasiteli toplu taşıma sistemlerinden çok ağır raylı metro sistemleri, banliyo sistemleri gibi yüksek kapasiteli toplu taşımayla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, otomobil sayısı yüksek olan kentlerde düşük kapasiteli toplu taşıma eğiliminin bulunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanonik korelasyon analizi, ISO 37120, kent göstergeleri, ulaşım

Examination of ISO 37120 standard transportation indicators by canonical correlation analysis

Abstract: With the increasing population living in cities, administrative problems occur in many areas. To make scientific decisions about problems, it is necessary to adopt a data-oriented management approach. It is very important to determine the important indicators of the city and to monitor these indicators periodically, to integrate the findings into the decision processes by establishing relations between the indicators. This study aims to examine the relationships between city indicators in the ISO 37120 standard Transportation title, which is an international standard on urban indicators. For this purpose, canonical correlation analysis was used. 5 sub-indicators included in the "Transportation" key performance indicator in the standard were analyzed. The 5 indicators determined were divided into two groups as inputs and outputs, and analysis was carried out on these groups. The canonical correlation coefficient calculated as 0.741 between the two related clusters was found to be significant. It has been determined that the factor that increases the use of public transportation is related to high-capacity public transportation such as heavy rail metro systems and suburban systems, rather than low-capacity public transportation systems such as buses, light rail trams, and trolleybuses. In addition, it has been determined that there is a tendency for low-capacity public transportation in cities with a high number of automobiles.

Key words: Canonical correlation analysis, ISO 37120, city indicators, transportation

*Sorumlu yazar

E-mail address: eakdamar@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0002-5136-3587

Received 10.06.2022; accepted 19.07.2022

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Kentlerde yaşayan nüfusun artmasıyla, eğitim, ulaşım, sağlık, çevre gibi temel alanların yönetimi kent yöneticileri için daha da önemli hale gelmiştir (Mccarney, 2015). Kentlerin problemlerinin çözümünde, kentlerin ürettiği veriyi kentlere ilişkin kritik kararlara entegre ederek, verilere dayalı yönetim yaklaşımı ile hareket etmek bilimsel açıdan son derece önemlidir. Özellikle kentlerin bir büyük veri kaynağı olarak ele alınması, kentlere ilişkin kritik göstergeler arasında önemli ilişkilerin belirlenmesi, bu ilişkilere bağlı olarak çeşitli uygulamaların geliştirilmesi, günümüzün yönetim anlayışında olmazsa olmazdır (Akdamar, 2018). Bir başka deyişle, söz konusu problemlerin üstesinden gelebilmek için verilere dayalı yönetim yaklaşımı benimsemek gerekmektedir. Bu yaklaşımın ilk adımı, kentin hizmet verdiği alanları temsil eden ana başlıkların (anahtar performans göstergelerinin) ve ilgili alt göstergelerin belirlenmesidir. Literatürde, kentlerin performanslarını ölçebilmeleri amacıyla geliştirilen çeşitli göstergeler farklı kurum ve kuruluşlar tarafından önerilmiştir.

The Cities Alliance projesi (citiesalliance, 2022), sağlıklı kentler projesi (Who, 2022), Birleşmiş kentler ve yerel yönetimler projesi (Uelg, 2022), uluslararası çevre girişimleri merkezi projesi (Iclei, 2022), Uluslararası Şehir/İlçe Yönetim Ortaklığı projesi (Icma, 2022), Birleşmiş Milletler tarafından yürütülen küresel kent göstergeleri veri tabanı ve milenyum projesi (Unhabitat, 2022) (millennium-project, 2022), Küreselleşme ve Kent Performansı araştırması projesi (Leautier, 2022) ve OECD tarafından geliştirilen Sürdürülebilir Topluluk İndeksi bunlardan bazılarıdır.

Bu projeler incelendiğinde, geliştirilen göstergelerin ya belirli bölgelerdeki kentler ile sınırlı kaldığı ya da sınırlı konular etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu noktada, ISO tarafından geliştirilen “ISO 37120-Toplulukların sürdürülebilir kalkınması şehir hizmetleri ve yaşam kalitesi göstergeleri standardının”, her ölçekteki kent tarafından uygulanabilen yapısı ve kentin tüm alanlarını kapsayan özelliği ile ön plana çıktığı görülmektedir. ISO 37120 standardında, 17 adet anahtar performans göstergesi ve bu göstergelerin altında 100 adet alt gösterge bulunmaktadır. Ulaşım, standartta yer alan anahtar performans göstergelerinden biridir. Ulaşım, ISO 37120 standardında 9 adet alt gösterge ile temsil edilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ISO37120 standardında yer alan 9 adet ulaşım göstergesi arasındaki ilişkileri incelemek ve belirlenen ilişkilerin kentlerin ulaşım politikalarında nasıl kullanılabileceklerini tartışmaktır. Bu amaçla çok değişkenli istatistiksel tekniklerden olan kanonik korelasyon analizi tercih edilmiştir. Literatür incelendiğinde bu yönde çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Çemrek (2005), Türkiye’deki illerin gelir ve refah düzeyleri arasındaki ilişkiyi kanonik korelasyon analizi ile incelemiştir. Özçomak ve Demirci (2010), Afrika Birliği üyesi ülkelerin sosyal ve ekonomik göstergeleri arasındaki ilişkiyi kanonik korelasyon analiziyle ortaya koymuştur. Altaş ve Giray (2005), sağlık, eğitim ve ekonomi göstergeler arasındaki ilişkinin araştırılmasında kanonik korelasyon analizinden yararlanmışlardır. Ünlükaplan (2008), rekabetçilik ve inovasyon göstergeleri ile ekonomik kalkınma değişkenleri arasında kanonik korelasyon analizi kullanarak güçlü bir ilişki belirlemiştir. Ülkelerin ve kentlerin kritik göstergeleri arasındaki ilişkilerin incelendiği çalışmalarda kanonik korelasyon analizinin tercih edildiği görülmektedir. Bu çalışmada ise verilerine ulaşılabilen farklı ölçeklerdeki 29 kent için hesaplanan ISO 37120 standardı ulaşım göstergeleri arasındaki ilişkiler ilk defa ele alınmıştır.

2. ISO 37120 standardı ulaşım göstergeleri

Ulaşım, ISO 37120 standardında yer alan 17 anahtar performans göstergesinden biridir. Standart içerisinde her bir gösterge farklı sayıda alt gösterge ile temsil edilmektedir. Ulaşım göstergesini temsil eden 9 adet alt gösterge bulunmaktadır. Standart içerisinde her bir alt göstergenin hesaplanma yöntemi, verilerin temin edileceği kurumlar, varsa diğer ayrıntılar detaylı olarak açıklanmaktadır. ISO 37120 Standardı, ulaşım anahtar performans göstergesine ilişkin alt göstergeler şunlardır (ISO, 2014):

1. 100.000 Nüfus başına yüksek kapasiteli toplu taşıma sisteminin kilometresi: Bu gösterge, kent içerisindeki yüksek kapasiteli toplu taşıma sistemlerinin kilometresinin, toplam kent nüfusuna bölünmesiyle bulunur. Ağır raylı metro sistemleri, banliyo sistemleri vb. yüksek kapasiteli toplu taşıma kapsamında değerlendirilir.

2. 100.000 Nüfus Başına Düşük Kapasiteli Toplu Taşıma Sisteminin kilometresi: Bu göstergenin değeri, kent içinde faaliyet gösteren düşük kapasiteli toplu taşıma sistemlerinin kilometresinin, toplam kent nüfusuna bölünmesiyle bulunur. Hafif yolcu taşımacılığı hafif raylı tramvaylar, otobüs, trolleybüs ve diğer hafif yolcu taşımacılığı servislerini içerebilir.

3. Kişi başı yıllık toplu taşıma kullanım sayısı: Kent içinde faaliyet gösteren toplam toplu ulaşım sayısının toplam kent nüfusuna bölünmesiyle bulunur. Toplu taşıma sayısı hesaplanırken tüm düşük ve yüksek kapasiteli taşıma sistemleri dahil edilir.

4. Kişi başına düşen kişisel otomobil sayısı: Bu göstergenin değeri, kentte kayıtlı kişisel otomobil sayısının toplam kent nüfusuna bölünmesiyle bulunur. Kişisel otomobil sayısının hesabında, ticari işletmeler tarafından kullanılan otomobiller de dahil edilir. Ticari işletmeler tarafından mal ve hizmet tesliminde kullanılan kamyonlar ve kamyonetler dahil edilmez.

5. Kişisel bir araçtan başka bir seyahat şeklini kullanan yolcuların yüzdesi: Bu göstergenin değeri, işe giderken kişisel araçtan başka yol kullanan kişi sayısının işe giderken kullanılacak tüm araçları kullanan kişi sayısına bölünmesiyle bulunur. Çıkan sonuç 100 ile çarpılarak yüzde şeklinde ifade edilir. Tüm araçlardan kasıt, bisiklet, yürüme, otobüsler, mini otobüsler, tren, tramvay, hafif raylı sistem, feribot, motosiklet ve motorlu olmayan iki tekerlekli araçlardır.

6. Kişi başına düşen iki tekerlekli motorlu taşıt sayısı: Bu göstergenin değeri, kentteki iki tekerlekli motorlu taşıtların toplam sayısının kentin toplam nüfusuna bölünmesiyle bulunur. İki tekerlekli motorlu araçlar, scooter'lar ve motosikletleri kapsamalıdır. Bisiklet gibi motorlu olmayan araçları içermez.

7. 100.000 Nüfus başına bisiklet yolu ve şerit kilometresi: Bisiklet kullanımına imkan tanıyan bir ulaştırma sistemi, trafik tıkanıklığının azalması ve yaşam kalitesi iyileştirilmesi bakımından bir çok yarar sağlayabilir. Bu göstergenin değeri, toplam bisiklet yolu ve yol şeritleri kilometresinin, toplam kent nüfusunun 100binde birine bölünmesiyle bulunur.

8. 100.000 Nüfus başına trafik kazasında hayatını kaybeden kişi sayısı: Bu göstergenin değeri, kent sınırları içerisinde, trafik kazası nedeniyle ölen kişi sayısının toplam kent nüfusunun 100binde birine bölünmesiyle bulunur. Otomobil, toplu taşıma, yürüyüş, bisiklet vb. ulaşım şekillerindeki ölümler bu gösterge hesabına dahil edilmelidir.

9. Ticari hava taşımacılığı: Ticari hava taşımacılığı, kente hizmet veren tüm havaalanlarından kalkan duraksız ticari (yani tarifeli) uçuşların toplamı olarak ifade edilmelidir.

Söz konusu göstergelere ilişkin World Council of City Data (WCCD) açık veri portalından Belçika, Hollanda, ABD, Kanada, İspanya, Avustralya Ürdün, Arjantin, Meksika, Filipinler, Portekiz, Hırvatistan, Tayvan, Suudi Arabistan ve İngiltere olmak üzere toplam 15 ülkeden 29 kente ilişkin veriler toplanmıştır (Wccd, 2018).

3. Kanonik korelasyon analizi

Göstergeler arasındaki ilişkinin yönünün ve gücünün incelenmesinde korelasyon analizi kullanılmaktadır (Gögebakan, 2021). Kanonik korelasyon analizinin amacı ise, iki değişken kümesi arasındaki ilişkileri araştırmaktır. Eğer ilişkisi araştırılan kümeler arasında bağımlı-bağımsız küme ayrımı yapılabiliyorsa kanonik korelasyon analizi ile girdi kümesinin çıktı kümesini açıklama seviyesi belirlenebilir (Sharma, 1996). Çok değişkenli istatistiksel tekniklerden olan kanonik korelasyon analizi, ilk kez (Hotelling, 1935) tarafından tanımlanmıştır (Shafto, Degani, & Kirlik, 1997). Kanonik korelasyon analizi analitik olarak şu şekilde açıklanabilir:

İlk olarak, her bir değişken kümesine ilişkin bir kanonik değişken oluşturulur. Her bir kanonik değişken o kümedeki değişkenlerin doğrusal bir kombinasyonu olarak tanımlanır. Bu durumda U_1 kanonik değişkeni, X değişken kümesinde bulunan göstergelerin doğrusal kombinasyonunu ve V_1 kanonik değişkeni, Y değişken kümesinde bulunan göstergelerin doğrusal kombinasyonunu göstermek üzere (1) ve (2)'deki gibi oluşturulur.

$$U_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (1)$$

$$V_1 = b_{11} Y_1 + b_{12} Y_2 + \dots + b_{1q} X_q \quad (2)$$

Kanonik değişkenler oluşturulduktan sonra, kanonik değişkenler U_1 ve V_1 arasındaki ilişkiyi belirlemek için, kanonik korelasyon katsayısı (ρ_1) hesaplanır. Kanonik korelasyon analizinde ρ_1 'i maksimize etmek için $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p}$ ve $b_{11}, b_{12}, \dots, b_{1q}$ tahmin edilmektedir. Analizin devamında, ikinci kanonik değişkenler U_2 ve V_2 , m. kanonik değişkenler U_m ve V_m için $\rho_2 \dots \rho_m$. kanonik korelasyon katsayıları hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu kanonik korelasyon katsayıları arasından, istatistiksel olarak anlamlı bulunan katsayılar yorumlanır.

Kanonik korelasyon analizinde önemli bir aşama Stewart ve Love (1968) tarafından önerilen ve bir değişken kümesindeki varyansın ne kadarının diğer değişken kümesine ait kanonik değişken tarafından açıklandığını belirlemekte kullanılan redundancy index (artıklık endeksi) hesaplanmasıdır. Redundancy Index (RI);

$MEAN\left(\frac{Y}{V_i}\right)$; V_i kanonik değişkeni tarafından Y kümesinin açıklanan ortalama varyansı,

LY_{ij}^2 ; Y değişken kümesindeki i. kanonik değişken ile j. orijinal değişken arasındaki korelasyonu (j. Değişkenin kanonik yükünü),

ρ_{uv}^2 ; U_i ve V_i kanonik değişkenleri ile açıklanan ortak varyansı (Kanonik korelasyon katsayısının karesi),

RI_{U_i/V_i} ; Artıklık endeksini ifade etmek üzere,

$$MEAN\left(\frac{Y}{V_i}\right) = \sum_{j=1}^q \frac{LY_{ij}^2}{q} \quad (3)$$

$$RI_{U_i/V_i} = MEAN\left(\frac{Y}{V_i}\right) \rho_{uv}^2 \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır. İki değişken kümesinden herhangi birinin diğerinde açıkladığı toplam varyans ise toplam artıklık endeksi (TRI) tarafından tanımlanmakta ve şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$TRI_{Y/X} = \sum_{i=1}^m RI_{U_i/V_i} = \sum_{i=1}^q \frac{RY_i^2}{q} \quad (5)$$

Tüm bu aşamalar herhangi bir Y kümesi için verilmiş olup aynı süreçler kullanılarak X kümesi için de aynı hesaplar yapılmaktadır.

3. Bulgular

Çalışmada, ISO 37120 standardı ulaşım anahtar performans göstergesinin 9 alt göstergesinden 29 kent için verilerine ulaşılabilen yalnızca 5 gösterge bulunmaktadır. Bu göstergeler, daha önce detaylı olarak açıklanan; Yüksek toplu taşıma, düşük toplu taşıma, kişi başı toplu taşıma, kişi başına otomobil ve trafik kazası ölüm göstergeleridir. Bu göstergeler girdi kümesi ve çıktı kümesi göstergeleri olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmıştır. Kent yönetiminin kontrolü altında bulunan göstergeler girdi kümesinde, kontrolü altında bulunmayan göstergeler ise çıktı kümesinde yer almaktadır. Buradan hareketle kurulan kanonik korelasyon modelinde yüksek toplu taşıma ve düşük toplu taşıma göstergeleri girdi kümesine atanmıştır. Kişi başı toplu taşıma, kişi başına otomobil ve trafik kazası ölüm göstergeleri ise çıktı kümesinde yer almaktadır. Söz konusu göstergeler arasındaki ilişki Tablo 1.'de incelenmektedir.

Tablo 1. Girdi ve çıktı göstergeleri için korelasyon analizi

Pearson korelasyon katsayısı	Girdi kümesi		
	Yüksek toplu taşıma	Düşük toplu taşıma	
Çıktı kümesi	Kişi başı toplu taşıma	0.3911*	0.2900
	Kişi başına otomobil	0.3201	0.5154*
	Trafik kazası ölüm	0.0594	-0.0485

*Korelasyon katsayısı 0.05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı

Korelasyon analizi bulguları, yalnızca kişi başı toplu taşıma ile yüksek toplu taşıma arasında ve kişi başına otomobil ve düşük toplu taşıma arasında pozitif yönlü bir ilişkinin varlığını göstermektedir.

Kentlerde yüksek toplu taşıma yatırımlarının artması kişi başına toplu taşıma kullanım miktarını da arttırmaktadır. Buradan hareketle, kent sakinlerini toplu taşıma kullanımına iten toplu taşıma biçiminin ağır raylı metro, metro sistemleri ve banliyö demiryolu gibi yüksek kapasiteli toplu taşıma olduğu söylenebilir. Nitekim kişi başına toplu taşıma kullanımı ile düşük toplu taşıma arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

Diğer taraftan düşük toplu taşıma yatırımlarının yoğun olduğu kentlerde kişi başına düşen otomobil miktarının da yüksek olduğu (aralarında aynı yönlü ilişki bulunduğu) söylenebilir. Bu durum, nüfus bakımından yoğun olan kentlerde hem toplu taşıma hem de kişisel otomobil kullanımının aynı anda yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

İki değişkenli girdi kümesi ve üç değişkenli çıktı kümesi arasındaki ilişki kanonik korelasyon analizi ile incelenmiş ve iki adet kanonik korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu katsayılardan ilki istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, ikinci katsayı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bulgular Tablo 2.'de sunulmuştur.

Tablo 2. Girdi ve çıktı kümeleri arasında kanonik korelasyon analizi bulguları

Kanonik korelasyon katsayıları ve anlamlılığı			
1	.741		
2	.177		
	Wilk's	Chi-Sq	DF
			Sig.
1	.437	20.708	6.000
2	.969	.800	2.000

Hesaplanan ilk kanonik korelasyon katsayısı anlamlı bulunduğu için ulaşım göstergelerine ilişkin girdi ve çıktı kümeleri arasında pozitif yönlü ve güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir.

Sharma (1996) çalışmasında, küçük örneklerde her bir değişkenin kendi kümesine olan etkisini belirlemek amacıyla, standartlaştırılmış kanonik korelasyon katsayıları yerine kanonik yüklerin kullanılmasını önermektedir. Bu nedenle, Tablo 3. ve Tablo 4.'de girdi ve çıktı kümeleri için kanonik yükler hesaplanmıştır.

Tablo 3. Girdi kümesi için kanonik yükler

Göstergeler	Kanonik yükler
Yüksek toplu taşıma	-0.703
Düşük toplu taşıma	-0.820

Tablo 4. Çıktı kümesi için kanonik yükler

Göstergeler	Kanonik yükler
Kişi başı toplu taşıma	-0.589
Kişi başına otomobil	-0.753
Trafik kazası ölüm	-0.001

Kanonik yükler incelendiğinde, girdi kümesinde düşük toplu taşıma göstergesinin çıktı kümesinde ise kişi başına otomobil göstergesinin kendi kümelerindeki bilgiyi açıklamada en etkili değişken oldukları belirlenmiştir. Girdi göstergelerinin çıktı kümesine etkisini ve çıktı göstergelerinin girdi kümesine etkisini gösteren çapraz yükler, Tablo 5 ve Tablo 6.'da verilmiştir.

Tablo 5. Girdi kümesi için çapraz yükler

Göstergeler	Çapraz yükler
Yüksek toplu taşıma	-0.521
Düşük toplu taşıma	-0.607

Tablo 6. Çıktı kümesi için çapraz yükler

Göstergeler	Çapraz yükler
Kişi başı toplu taşıma	-0.437
Kişi başına otomobil	-0.558
Trafik kazası ölüm	0.000

Çıktı kümesi üzerinde en yüksek etkiye sahip olan gösterge düşük toplu taşıma olurken (-0.607), girdi kümesi üzerinde en etkili gösterge kişi başına otomobil göstergesi olmuştur (-0.,558).

Girdi/çıktı kümesi için oluşturulan kanonik değişkenlerin girdi/çıktı kümelerindeki değişimleri (varyansı) ne oranda açıkladığını belirlemek ve girdi/çıktı kümelerindeki göstergelerin kendi kümeleri için oluşturulan kanonik değişkenleri ne oranda açıkladığını ortaya koymak amacıyla Redundancy index (artıklık endeksi) sonuçları heaplanmış ve Tablo 7.'de sunulmuştur.

Tablo 7. “Ulaşım” anahtar performans göstergesi için artıklık endeksi sonuçları

Kendi kanonik değişkeni ile açıklanan girdi kümesi varyansının oranı	Karşıt kanonik değişkenle açıklanan girdi kümesi varyansının oranı	Kendi kanonik değişkeni ile açıklanan çıktı kümesi varyansının oranı	Karşıt kanonik değişkenle açıklanan çıktı kümesi varyansının oranı
0.305	0.167	0.583	0.320

Buradan hareketle, girdi kümesinin çıktı kümesini %32 oranında açıkladığı görülmektedir. Başka bir ifadeyle bir kentteki kişi başı toplu taşıma, kişi başına otomobil ve trafik kazası ölüm göstergelerinin değeri %32 oranında yüksek toplu taşıma ve düşük toplu taşıma değişkenlerinin değerlerine bağlı olarak belirlenir. Bu bulgular, bir kentteki toplu taşıma yatırımlarının önemini net bir biçimde ortaya koymaktadır. Korelasyon analizi bulgularıyla birlikte değerlendirildiğinde; İlk sırada ağır raylı metro, metro sistemleri ve banliyö demiryolu gibi yüksek toplu taşıma yatırımlarının artması toplu taşıma kullanımını arttıracak bir unsurdur. Bunun yanında hafif yolcu taşımacılığı olan hafif raylı tramvaylar, otobüs ve trolleybüs gibi düşük toplu taşıma yatırımlarının artması ise toplu taşıma kullanımını yüksek toplu taşıma yatırımları gibi arttırmamaktadır. Ancak düşük toplu taşıma yatırımları ile kişi başına otomobil sayısı arasında bir ilişki bulunması, bu tip yatırımların kalabalık (hali hazırda otomobil kullanımının yoğun olduğu) şehirlerde tercih edildiğini göstermektedir.

4. Sonuç

ISO 37120 Standardı, artan kent sorunları ile veriye dayalı yönetim yaklaşımını kullanarak baş etmede önemli yararlar sağlamaktadır. Söz konusu standardın geliştirilme sürecinde konusunda uzman birçok paydaşın yer alması, standardın konumu ve büyüklüğünden bağımsız bir şekilde kentler arasında bir dil birliği oluşturması, göstergelere ilişkin verilerin hesaplama ve toplanma yöntemlerini detay düzeyde sunması bakımından güvenilir ve yol gösterici bir standart olduğu görülmektedir. ISO 37120 Standardı göstergeleri, benzer konularda çalışan diğer kurum ve kuruluşların gösterge setlerine kıyasla, nitelik ve nicelik bakımından idealdir. Bununla birlikte, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarını dengeli bir biçimde temsil etmektedir. Benzer şekilde, ISO 37120 Standardı içerisinde, 17 anahtar performans göstergesinden biri olan ulaşım ile ilgili, yeterli sayıda ve özellikle gösterge bulunmaktadır.

İlgili göstergeler, kent yönetimi tarafından kontrol edilebilen (girdiler) ve kent yönetimi tarafından kontrol edilemeyen (çıktılar) olmak üzere iki kümeye ayrılmış ve girdi kümesi ile çıktı kümesi arasındaki ilişkiler kanonik korelasyon analizi yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre; girdi ile çıktı kümesi arasında %5 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur (0.741, $p < 0.05$). Kanonik yükler incelendiğinde girdi kümesine en çok katkıyı veren değişken “100.000 nüfus başına düşük kapasiteli toplu taşıma sisteminin kilometresi” iken, çıktı kümesine en çok katkıyı veren

değişken, “Kişi başına düşen kişisel otomobil sayısı” göstergesidir. Çapraz yükler incelendiğinde de söz konusu iki gösterge karşıt kümede en çok etkiye sahip olan göstergelerdir. Artıklık endeksi sonucunda ise girdi kümesindeki değişkenler ile çıktı kümesindeki varyansın %32’sinin açıklandığı görülmektedir. Bulgular, Toplu taşıma kullanımının otobüs, hafif raylı tramvay, trolleybüs gibi düşük kapasiteli toplu taşıma sistemlerinden ziyade ağır raylı metro sistemleri, banliyo sistemleri gibi yüksek kapasiteli toplu taşımayla arttığını göstermektedir.

ISO 37120 standardında yer alan ulaşım göstergelerinden bir kısmı, veri bulunamadığı için bu çalışmada kullanılamamıştır. Çalışmanın bu kısıtının giderilmesi ve verilerine ulaşılamayan değişkenlerin girdi ve çıktı kümelerine dağıtılmasıyla, bu çalışma güncellenebilir. Bununla birlikte, ulaşım göstergelerine ilişkin girdiler ve çıktılar arasındaki anlamlı ilişkiler bu çalışmada olduğu gibi belirlendiğinde, kentlerin ulaşım anahtar performans göstergesi altında verimli/etkin çalışıp çalışmadığı araştırılabilir.

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

Akdamar, E. (2018, Mart 28). Akıllı kentlere ilişkin ISO 37120 standardı göstergelerinin çok değişkenli istatistiksel tekniklerle irdelenmesi . *Doktora Tezi*. Bursa, Türkiye: T.C Bursa Uludağ Üniversitesi.

Altaş, D., & Giray, S. (2005). Türkiye’nin Eğitim, Sağlık ve İktisadi Göstergeleri Arasındaki Etkileşiminin Kanonik Korelasyon Analizi ile İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 45-66.

Çemrek, F. (2014). Türkiye’deki İllerin Gelir ve Refah Düzeyi Değişkenleri Arasındaki İlişkinin Kanonik Korelasyon Analizi ile İncelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 7(2), 197-215.

Gögebakan, M. (2021). Ulaştırma Sistemlerinde Kullanılan Sayısal Yöntemler. A. Kılıç, & G. S. Denктаş, *Ulaştırma sistemleri: Temel Kavramlar, Ekonomi, Politika, Terminoloji ve Mevzuat*. (s. 385-416). Ankara: Nobel Kitabevi .

Hotelling, H. (1935). The most predictable criterion. *Journal of Educational Psychology*, 139-142.

ISO. (2014). *ISO37120 Sustainable development of communities - Indicators for city services and quality of life*. Cenevre

Leautier, F. (2022). *Cities in a Globalizing World, Governance, Performance & Sustainability*. DC: Dünya Bankası Yayınları.

Mccarney, P. (2015). The Evolution of Global City Indicators and ISO37120: The First International Standard on City Indicators. *Statistical Journal of the IAOS*, 31, 103-110.

Özçomak, M., & Demirci, A. (2010). Afrika Birliği Ülkelerinin Sosyal ve Ekonomik Göstergeleri Arasındaki İlişkinin Kanonik Korelasyon Analizi ile İncelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 261-274.

Shafto, M., Degani, A., & Kirlik, A. (1997). Canonical Correlation Analysis of Data on Human-Automation Interaction. *Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. (s. 1-7). Albuquerque NM: Human Factors Society.

Sharma, S. (1996). *Applied Multivariate Techniques*. Canada.: John Wiley & Sons, Inc.

Stewart, D., & Love, W. (1968). A General Canonical Correlation Index. *Psychological Bulletin*, 160-163.

Ünlükaplan, Y. (2008). Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerin Peyzaj Ekolojisi Araştırmalarında Kullanımı. *Doktora Tezi*. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Url-1 citiesalliance. <www.citiesalliance.org> Erişim tarihi: 07.06.2022

Url-2 Iclei <www.iclei.org> Erişim tarihi: 07.06.2022

Url-3 Icma <www.icma.org>Erişim tarihi: 07.06.2022

Url-4 <<http://www.millennium-project.org>> Erişim tarihi: 05.06.2022

Url-5 <www.uclg.org> Erişim tarihi: 06.06.2022

Url-6 <www.unhabitat.org> Erişim tarihi: 09.06.2022

Url-7 <www.dataforcities.org/wccd/> Erişim tarihi: 05.01.2018

Url-8 <www.euro.who.int> Erişim tarihi: 05.06.2022

Research Article

Prediction of highway pavement surface condition based on meteorological parameters using Deep Learning Method

Tahsin Baykal¹, Fatih Ergezer^{2,*}, Serdal Terzi²

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, Suleyman Demirel University, Turkey

² Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Suleyman Demirel University, Turkey

*Correspondence: fatihergezer@sdu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1152377

Abstract: The condition of the pavement surface on highways is an important factor in ensuring traffic safety. The condition of the road pavements varies according to the climatic conditions of the road. To record the variability of road pavements according to meteorological factors, both sensors placed in the pavement and road meteorology information stations are installed on the roadsides. Within the scope of intelligent transportation systems, the establishment of road management information systems and the status of the road pavement in real-time can be observed with the data obtained from the sensors. With these sensor data, the road surface condition can be estimated with different artificial intelligence methods. Thus, important information is provided for decision-makers in taking precautions according to the dry, wet, and icy road surface condition. In this study, it is purposed to estimate the road surface condition based on meteorological parameters. For this purpose, deep learning models have been developed. Air temperature (tmp), dew point temperature (dwp), wind speed (sknt), wind direction (drct), wind gust (gust), pavement sensor temperature (tfs), and pavement sensor condition (cond) parameters were used in 65966 datasets. Accuracy was used in the evaluation of deep learning models. Consequently, the evaluation, the accuracy value of the best model was determined as 0.88. In addition, accuracy, recall, precision, and F1-score values of each class were calculated for the test set of the best model.

Keywords: Intelligent transportation systems, artificial intelligence, deep learning, highway pavement, meteorological parameters

Derin Öğrenme Yöntemi kullanılarak meteorolojik parametrelere dayalı karayolu kaplama yüzey durumunun tahmini

Özet: Karayollarında yol kaplama yüzeyinin durumu trafik güvenliğinin sağlanmasında önemli bir faktördür. Yolun bulunduğu iklim koşullarına göre yol kaplamalarının durumu değişkenlik göstermektedir. Yol kaplamalarının meteorolojik faktörlere göre değişkenlik durumunu kayıt altına almak için hem yol kaplama içerisine yerleştirilen sensorler hem de yol kenarlarına yol meteoroloji bilgi istasyonları kurulmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri kapsamında yol yönetim bilgi sistemlerinin kurulması ve sensörlerden alınan veriler ile gerçek zamanlı yol kaplamasının durumu gözlemlenmektedir. Bu sensor verileri ile yol yüzey durumu farklı yapay zekâ yöntemleri ile tahmin edilebilmektedir. Böylece yol yüzey durumunun kuru, ıslak ve buzlu olmasına göre önlemlerin alınmasında karar vericiler için önemli bilgiler sunulmaktadır. Bu çalışmada, meteorolojik parametrelere bağlı yol yüzey durumu tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, derin öğrenme modelleri geliştirilmiştir. 65966 adet veriseti içerisinde hava sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, esinti hızı, kaplama sensör sıcaklığı ve kaplama sensör durumu parametreleri kullanılmıştır. Derin öğrenme modellerinin değerlendirilmesinde doğruluk kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda en iyi modelin doğruluk değeri 0.88 olarak belirlenmiştir. Ayrıca en iyi modelin test seti için her bir sınıfa ait doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-skoru değerleri hesaplanmıştır.

Keywords: Akıllı ulaşım sistemleri, yapay zeka, derin öğrenme, karayolu üstyapı, meteorolojik parametreler

* Corresponding author.

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

ORCID: 0000-0001-6218-0826; 0000-0001-8034-5743; 0000-0002-4776-824X (in hierarchical order)

Received 03.08.2022; accepted 23.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Introduction

The surface condition of the road pavement on highways is one of the considerable road safety factors. Whether the pavement surface is dry, damp, wet, or covered with ice is an important factor for drivers using the road. The condition of the road pavement may change according to meteorological conditions. While the road surface may be dry in hot climate regions, the pavement surface also varies in parallel with this situation in climates with heavy rainfall. Road sensors can be used to determine the surface condition of road pavements (Alqudah and Sababha, 2017; Dudak et al., 2017). The sensors positioned on the road can record continuously depending on the pavement temperature and weather conditions. In addition, road weather stations (RWS) are located on the roadsides and automatically collect and record the meteorological conditions to which the pavement is exposed in real-time. The RWS system is equipped with a series of sensors that allow the collection of meteorological data such as air temperature, relative humidity, wind speed, precipitation type, visibility, and with the help of these sensors, data such as road surface temperature and road surface condition can be transferred to road management stations (Kocianova, 2015). In a study, Kocianova (2015) observed and predicted the condition of the road surface for smart winter road maintenance management in Slovak climate conditions by collecting data with the weather station installed on the roadside depending on meteorological conditions. According to the data collected at the RWS stations, it is thought that the traffic accidents will decrease as the necessary intervention to the pavements will affect traffic safety positively. It is important to use estimation methods to determine the condition of the pavement according to future meteorological conditions and to take the necessary precautions. As some of the estimation methods used, the statistical approach method in estimating the road surface condition (Krsmanic et al., 2013; Bouilloud et al., 2009) Machine Learning method (Liu et al., 2018; Yang et al., 2020; Molavi Nojumi et al., 2022), artificial neural network method (Xu et al., 2017; Li et al., 2022), Deep Learning method (Milad et al., 2021) have been used to predict the condition of the pavement.

This study aims to predict the state of the road surface based on road meteorological parameters with deep learning. In the study, meteorological data of the location of the road pavement from the Road Weather Information System of the Iowa Department of Transportation in the USA were used. A numerical value of 0, 1, 2, and 3 were assigned to the dry, trace moisture, wet, and ice data obtained from the sensor of the road pavement, respectively.

2. Methods

2.1. Dataset

Data from The Iowa Department of Transportation's Road Weather Information System in the USA were used to estimate the pavement surface condition (URL-1, 2022). The data set consists of meteorological parameters such as air temperature (F- tmp), dew point temperature (F- dwp), wind speed (knots- sknt), wind direction (degree N- drct) wind gust (knots-gust), pavement sensor temperature (F-tfs), and pavement sensor condition. Statistical information about the data set is given in Table 1.

Table 1. Dataset statistical parameters

	tmp	dwp	sknt	drct	gust	tfs	cond
count	65966	65966	65966	65966	65966	65966	65966
mean	49.66	40.85	7.43	194.10	10.70	58.57	0.44
std	21.96	20.59	4.97	95.65	6.83	27.08	0.93
min	-24.70	-30.28	0.00	0.00	0.00	-15.90	0.00
25%	33.62	26.10	3.50	130.00	5.20	37.60	0.00
50%	51.62	41.90	7.00	185.00	9.72	58.82	0.00
75%	67.10	58.82	10.40	285.00	14.80	76.60	0.00
max	95.00	80.80	36.72	360.00	131.75	131.70	3.00

2.2. Deep learning

Deep learning algorithms emerged as a computer analogy of a neuron in the human brain. Deep learning is used especially for classification, recognition, and detection (Dogan and Turkoglu, 2018).

Deep learning includes very deep neural networks, typically deeper than three layers, and a class of models that attempt to hierarchically learn deep features of the input data. Firstly, it begins as unsupervised training on a network layer basis. It is then adjusted in a controlled manner. Deep learning models can become more complex and abstract from layer to layer. A deep neural network model is given in Figure 1.

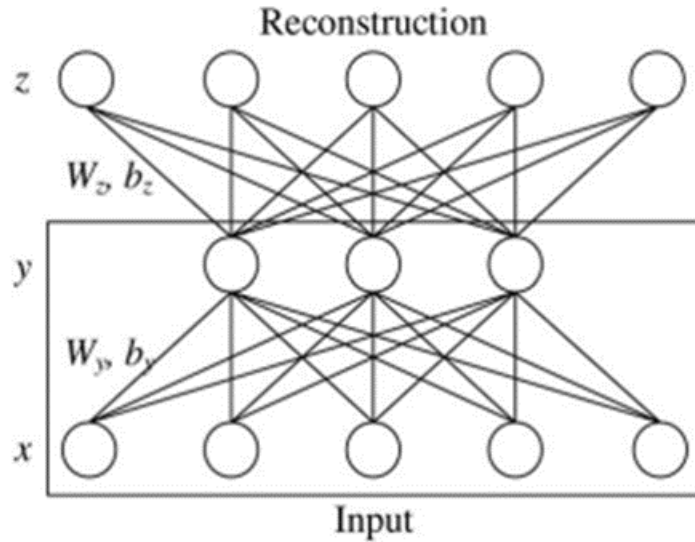


Figure 1. Deep neural network structure (Chen et al., 2014)

Figure 1 shows a single-layer deep neural network structure for the classification problem. The model learns a hidden feature 'y' from input 'x' by reconstructing it on 'z'. The corresponding parameters are displayed in the network (Chen et al., 2014).

2.3. Evaluation metrics

Accuracy (Acc) symbolizes the ratio between correctly predicted samples and all samples in the dataset (Equation 1). It is described for each confusion matrix M and takes values in the range 0-1. The accuracy value of 0 corresponds to the old classification, and 1 corresponds to the correct classification (Chicco and Jurman, 2014).

$$Acc = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

Precision is the probability that a type is available given an estimated availability. Recall (more commonly referred to as susceptibility) is the probability that the model estimates the presence where the species is observed (Sofaer et al., 2019). Precision and recall are given in Equations 2 and 3, respectively.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

TP represents cases where the model correctly predicts positive classes, that is true positive values, FP (false positive), cases where the model incorrectly predicts positive classes, FN (false negative) symbolizes cases where the model incorrectly predicts negative classes (Rahim et al., 2021).

F1-score is the most-used member of the F-measures parametric family, called after the parameter value $\beta=1$. The F1 score is described as the harmonic mean of precision and recall (Equation 4). An F1-score value of 0 means the model result is bad, and a 1 means that the model result is good (Chicco and Jurman, 2014).

$$F1 - score = 2 * \frac{precision*recall}{precision+recall} \tag{4}$$

3. Results

This study, a deep learning model was improved for pavement surface condition prediction. Meteorological dataset was used to develop the deep learning model. Before the model was developed, the relations between the variables were examined with the correlation matrix and pair plot.

The strongest correlation coefficients between the two variables were indicated as 1 positive and -1 negative correlation. The correlation matrix is given in Figure 1 to determine the relationships of the variables with each other.



Figure 2. Correlation matrix

When Figure 2 is examined, the correlation value of each variable with itself is 1 and is located on the matrix cross line. The strongest positive relationship among the variables is between air temperature and pavement surface temperature, with a correlation value of 0.93. There is also a strong positive relationship between tmp - tfs, sknt - gust, tmp - dwp, and dwp - tfs. The lowest relationship in the negative direction is between the pavement temperature and the pavement state. In Figure 3, the pair plot of the data set is given.

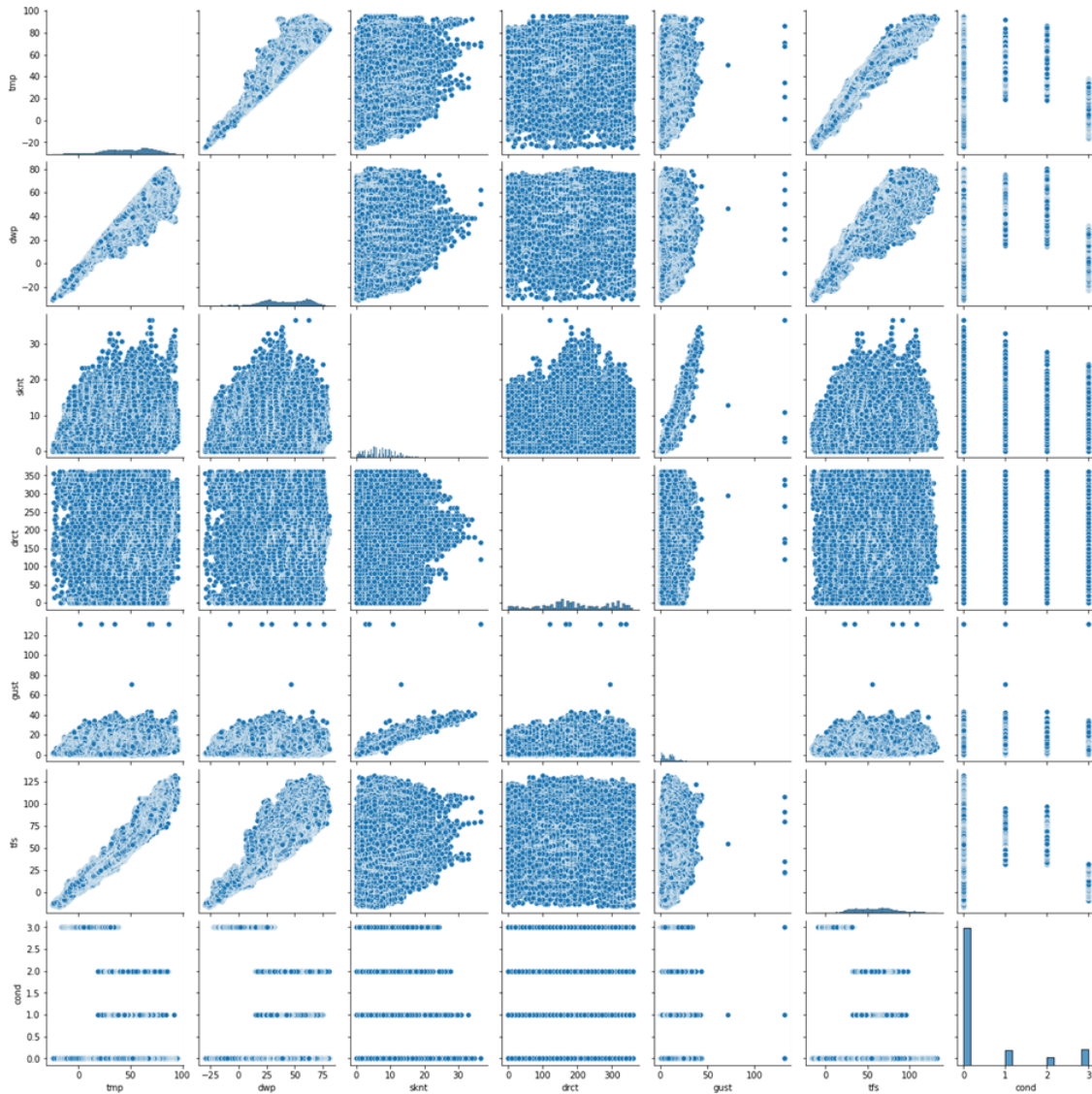


Figure 3. Pair plot of the data set

By using the variables air temperature (F), dew point temperature (F), wind speed (knots), wind direction (degree N) wind gust (knots), and pavement sensor temperature (F) as inputs, pavement sensor condition was estimated by deep learning. Dry, trace moisture, wet and ice watch data obtained from the road meteorology information station pavement status sensor were converted into numerical data as 0, 1, 2, and 3, respectively. Models were developed using the Keras library in Python environment. While developing the models, the best model was chosen by testing the number of hidden layers, the number of neurons in the hidden layers, the number of batch sizes and epochs. The accuracy value was used in the evaluation of the model result. As a result of the evaluation, the accuracy value for the test set of the best model is 0.88. The confusion matrix of the best model is given in Figure 4. In addition, accuracy, precision, recall, and F1 score were calculated for each class in the test set of the best model (Table 2).

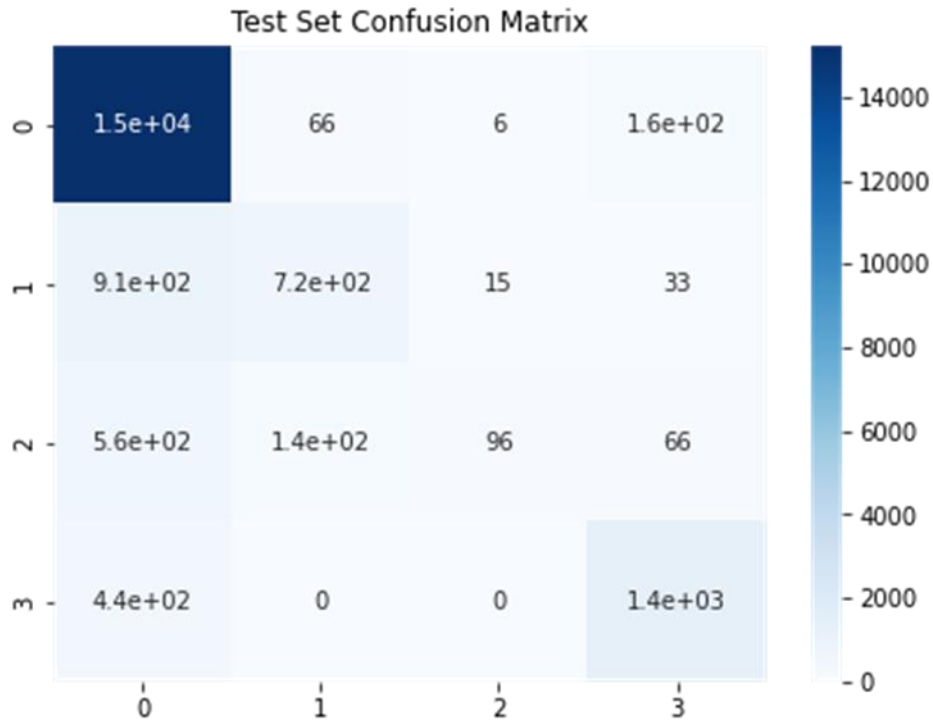


Figure 4. Confusion matrix of the test set

Table 2. Evaluation metrics for the test set

Class	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
0	0.89	0.99	0.89	0.93
1	0.68	0.49	0.82	0.61
2	0.71	0.42	0.96	0.59
3	0.39	0.50	0.63	0.56

When Table 2 is examined, it is seen that the 0 class shows high success according to the accuracy, precision, recall, and F1-score values.

4. Conclusion

Dry, wet and icing conditions of the highway pavement surface according to weather conditions are very important for traffic safety. Knowing the road pavement situation in these regions in advance by local authorities will reduce the risk of accidents. In recent years, developments in the field of artificial intelligence have made it possible to make high-accuracy predictions with large datasets.

In this study, pavement surface condition was estimated by deep learning meteorological parameters from The Iowa Department of Transportation's Road Weather Information System. Deep learning models were developed with gust (knots), pavement sensor temperature (F), and pavement sensor conditioning data. When the developed deep learning models were evaluated, the highest accuracy value for the test set was found to be 0.88. As a result, it is thought that deep learning models are successful in estimating pavement surface conditions. It has been seen that road pavement conditions can be predicted by using different data sets and different algorithms for future studies. It is thought that traffic accidents that may occur can be reduced by predicting road pavement situations with road management systems. In addition, it is thought that by estimating the pavement condition, road maintenance and repair operations will be more regular and the service life of the road can be used

more effectively.

Researchers' Contribution Rate Statement

The contribution rates of the authors are equal.

Acknowledgment and/or disclaimers, if any

The first author (Tahsin BAYKAL) was supported by the Council of Higher Education's 100/2000 doctoral scholarship.

Conflict of Interest Statement, if any

There is no conflict of interest in the study.

References

- Alqudah, Y. A. & Sababha, B. H.** (2017). On the Analysis of Road Surface Conditions Using Embedded Smartphone Sensors. *In 2017 8th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*, pp. 177-181.
- Bouilloud, L., Martin, E., Habets, F., Boone, A., Le Moigne, P., Livet, J., Marchetti, M., Foidart, A., Franchistéguy, L., Morel, S., J. Noilhan & Pettré, P.** (2009). Road Surface Condition Forecasting in France. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(12), 2513-2527.
- Chen, Y., Lin, Z., Zhao, X., Wang, G. & Gu, Y.** (2014). Deep Learning-Based Classification of Hyperspectral Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(6), 2094-2107.
- Chicco, D. & Jurman, G.** (2020). The Advantages of The Matthews Correlation Coefficient (Mcc) Over F1 Score and Accuracy in Binary Classification Evaluation. *BMC Genomics*, 21(1), 1-13.
- Dogan, F. & Turkoglu, İ.** (2018). The Comparison of Leaf Classification Performance of Deep Learning Algorithms. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 1(1), 10-21 (in Turkish).
- Dudak, J., Gaspar, G., Sedivy, S., Pepucha, L., & Florkova, Z.** (2017). Road Structural Elements Temperature Trends Diagnostics Using Sensory System of Own Design. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 012036.
- Kocianova, A.** (2015). The Intelligent Winter Road Maintenance Management in Slovak Conditions. *Procedia Engineering*, 111, 410-419.
- Krsmanc, R., Slak, A. S., & Demsar, J.** (2013). Statistical Approach for Forecasting Road Surface Temperature. *Meteorological Applications*, 20(4), 439-446.
- Li, Y., Chen, J., Dan, H. & Wang, H.** (2022). Probability Prediction of Pavement Surface Low Temperature in Winter Based on Bayesian Structural Time Series and Neural Network. *Cold Regions Science and Technology*, 194, 103434.
- Liu, B., Yan, S., You, H., Dong, Y., Li, Y., Lang, J. & Gu, R.** (2018). Road Surface Temperature Prediction Based on Gradient Extreme Learning Machine Boosting. *Computers in Industry*, 99, 294-302.
- Milad, A., Adwan, I., Majeed, S. A., Yusoff, N. I. M., Al-Ansari, N. & Yaseen, Z. M.** (2021). Emerging Technologies of Deep Learning Models Development for Pavement Temperature Prediction. *IEEE Access*, 9, 23840-23849.
- Molavi Nojumi, M., Huang, Y., Hashemian, L. & Bayat, A.** (2022). Application of Machine Learning for Temperature Prediction in a Test Road in Alberta. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 15(2), 303-319.

Rahim, M. A. & Hassan, H. M. (2021). A Deep Learning-Based Traffic Crash Severity Prediction Framework. *Accident Analysis & Prevention*, 154, 106090.

Sofaer, H. R., Hoeting, J. A. & Jarnevich, C. S. (2019). The Area Under the Precision-Recall Curve as A Performance Metric for Rare Binary Events. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(4), 565-577.

URL-1. <<https://mesonet.agron.iastate.edu/request/rwis/fe.phtml>> [Online], Available: (2022, Feb 22).

Xu, B., Dan, H. C. & Li, L. (2017). Temperature Prediction Model of Asphalt Pavement in Cold Regions Based on an Improved BP Neural Network. *Applied Thermal Engineering*, 120, 568-580.

Yang, C. H., Yun, D. G., Kim, J. G., Lee, G. & Kim, S. B. (2020). Machine Learning Approaches to Estimate Road Surface Temperature Variation along Road Section in Real-Time for Winter Operation. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 18(2), 343-355.

Research Article

A stochastic sequence planning model for the runways with multiple exits

Kadir Dönmez*

Aircraft Maintenance Department, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Samsun University,
Samsun, Turkey

*Correspondence: kadir.donmez@samsun.edu.tr

DIO: 10.51513/jitsa.1138520

Abstract: The runway exit points (REPs) of the airport are constructed considering the operational performance of different types of aircraft based on historical flight data. In sequence planning, it is assumed that aircraft will vacate the runway from an expected exit point. However, real performance can be uncertain, and the same type of aircraft may vacate the runway from different exit points rather than the expected point. In addition, the runway occupancy times (ROTs) of aircraft that vacate the runway from the same exit point may not be equal. This situation brings two types of uncertainty when making traffic plans in an airport with several REPs. The first uncertainty is the REP of the aircraft, and the second is the ROT uncertainty considering the exit points. In this study, a two-stage stochastic programming model was developed for aircraft sequencing in an airport that has multiple runway exit points. In the model, both runway exit and ROT uncertainties are considered. A runway with multiple exit points at an airport in Turkey was selected and flight track data of 154 arrival flights to this runway was examined. Various expected time of arrival and departure (ETAD) scenarios were generated based on real data and integrated into the mathematical models. The proposed model was then compared with deterministic and first come first serve (FCFS) approaches in terms of total delay. As a result of the comparison and analyses, the presented stochastic programming model provided robust solutions and delay savings compared to the other approaches.

Key words: Aircraft sequencing, runway occupancy time uncertainty, runway exit point uncertainty, stochastic programming, arrival-departure delays.

Çoklu terk ediş noktası bulunan pistler için stokastik sıralama planlama modeli

Özet: Havalimanlarında pisti terk ediş taksii yolları farklı tipteki uçakların operasyonel performansları göz önünde bulundurularak geçmiş verilere dayalı olarak tasarlanmaktadır. Sıralama planlaması yapılırken uçakların pisti beklenen bir noktadan terk edeceği varsayılmaktadır. Ancak gerçek performanslar farklılık gösterebilmektedir. Aynı tip uçaklar pisti farklı noktalardan terk edebilmektedir. Bunun yanı sıra pisti aynı noktadan terk eden uçakların pist meşguliyet süreleri de farklılaşabilmektedir. Bu durum birden fazla pisti terk ediş taksii yolu içeren havalimanlarında trafik planlaması yapılırken iki farklı belirsizlik unsurunu ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan ilki pisti terk ediş noktası (REP) belirsizliği diğeri ise pist meşguliyet süresi (ROT) belirsizliğidir. Bu çalışmada REP ve ROT belirsizlikleri göz önüne alınarak birden fazla terk ediş noktasına sahip pisti bulunan havalimanlarında geliş-kalkış sıralaması için stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Türkiye’de bir havalimanına gerçekleşen 154 geliş operasyonun radar verileri incelenmiş ve matematiksel modele entegre edilmiştir. Gerçek verilere dayalı olarak üretilen çeşitli beklenen iniş ve kalkış senaryoları matematiksel modelde koşturulmuştur. Daha sonra önerilen stokastik model deterministik ve ilk gelen ilk hizmet alır (FCFS) yaklaşımları ile toplam gecikme açısından kıyaslanmıştır. Sonuç olarak önerilen modelin belirsizliklere karşı sağlam sıralamalar sunmayı başardığı ve diğeri yaklaşımlarla kıyaslandığında önemli gecikme kazanımları sağladığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçak sıralama, pisti terk ediş noktası belirsizliği, pist işgal süresi belirsizliği, stokastik programlama, geliş-kalkış gecikmeleri.

* Corresponding author.

E-mail address: kadir.donmez@samsun.edu.tr

ORCID: 0000-0002-1236-0498

Received 30.06.2022; accepted 29.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

Runway exit points (REPs) are designed based on historical data and aircraft performance calculations related to the different types of aircraft (ICAO, 2005) as well as environmental and operational variables of the related airport (Trani et al., 1990). ICAO published a manual that indicates the most suitable REP locations in airports (ICAO, 2005). In this report, four types of aircraft are identified based on their threshold crossing speeds. This speed is determined as 1.3 times the stall speed in the landing configuration at maximum certified landing mass at sea level. The aircraft are categorized in the manual as A (DC3, DHC6, DHC7, etc.), B (DC6, DC7, Fokker F27, Fokker F28, etc.), C (A300, A310, A320, A330, B727, B737, B747-SP, etc.) and D (A340, B747, B777, etc.). The accumulated rapid exit usages in distance (nm) from the threshold depending on aircraft type are given in the same manual, which are represented in Table 1.

Table 1. Accumulated rapid exit usage by distance from threshold (m) (ICAO, 2005)

	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
A	1170	1320	1440	1600	1950	2200	2900
B	1370	1480	1590	1770	2070	2300	3000
C	1740	1850	1970	2150	2340	2670	3100
D	2040	2190	2290	2480	2750	2950	4000

As seen in Table 1, the probabilities of the rapid exit distance are differentiated according to the type of aircraft. In addition, there are several possibilities for the same type of aircraft. For example, an aircraft in category A can vacate the runway from a point between 1170 and 2900 m with different probabilities.

Air traffic controllers (ATCOs) at an airport with multiple exit points make sequencing plans considering separation requirements and operational conditions. The ATCOs consider that aircraft will vacate the runway from the expected REPs declared in the Aeronautical Information Publication (AIP) or the most probable exit points observed from real operations. However, in some cases aircraft can vacate the runway earlier or later than the expected exit point, which brings uncertainty to operation planning. Initial plans can result in higher delays when uncertain conditions are realized. For our case study, Antalya airport (LTAI) in Turkey was used. The expected runway exits of the arriving flights to the runway are declared in the AIP considering ICAO wake turbulence categories (ICAO, 2017). According to the AIP Turkey, Heavy (H), Medium (M), and Small (S) category aircraft are expected to vacate the runway from C2, D, and D, respectively. The runway layout and the rapid exit taxiways are shown in Figure 1 (AIP Turkey, 2022).



Figure 1. LTAI ground layout

The declared exit points are shared as a guide rather than an obligation. However, it is requested that pilots who are not able to vacate via the taxiways declared in the AIP must inform ATC during the final approach phase (AIP Turkey, 2022). If a pilot cannot inform the ATCOs and cannot leave the runway from the expected point this may need an intervention by the ATCOs, which may require sequence changes of arrivals and departures or re-setting the separation minimums between consecutive aircraft. Even when a pilot informs the ATCOs, an intervention may still be required to provide the separation minimums between consecutive aircraft in the operation, causing additional delays for the following aircraft. To avoid sequence change, which is a challenging situation for both controllers and pilots, robust sequences should be made that consider all the uncertainties in REPs.

Considering only REP uncertainty may not be enough because the runway occupancy times (ROT) of the aircraft vacating the runway from the same exit point may not be equal. This uncertainty can also affect the aircraft sequence on the runway. In this regard, a two-stage stochastic programming model that considers both REP and ROT uncertainties was developed in this study. Various expected time of arrival and departure (ETAD) samples were solved and compared to other methods including deterministic and FCFS approaches.

1.1. Literature review

In literature, the air traffic management system is investigated including several uncertainties in the air (Tielrooij et al., 2013) and on the ground (Rappaport et al., 2009). There are several studies that the weather conditions are considered to be one of the major uncertainties in the air affecting flight times and airborne delays (Alonso et al., 2000; Cecen et al., 2020; Matthews et al., 2009). Ground uncertainties, on the other hand, are examined including pushback times (Hanbong Lee & Balakrishnan, 2012), taxi times (Atkin et al., 2008), ROTs (Martinez et al., 2018), etc. ROT uncertainty is one of the important ground uncertainties that affect runway capacity. This uncertainty directly affects the operations in the air as well as on the ground and may cause significant delays (Meijers, 2019). There are several attempts to predict the ROT of aircraft (Dai & Hansen, 2020; Jeddi et al., 2006; Meijers, 2019; Nguyen et al., 2020), however, this uncertainty includes a number of factors, such as aircraft weight, pilot performance, wind direction, and speeds, ground humidity, etc. (Shone et al., 2021). Even for professionals, it is not easy to predict the ROTs (Martinez et al., 2018). Therefore, stochastic approaches have been suggested to improve runway operations considering ROT uncertainties (Hockaday & Kanafani, 1974; Nikoleris & Hansen, 2016; Stamatopoulos et al., 2004). All these approaches indicate that the efficiency of air traffic management may increase by considering the ROT uncertainties. In this study, the ROT uncertainty of aircraft is considered in a mathematical

model to validate the efforts made in previous studies. In addition, REP uncertainty is also integrated into the model to increase the model's sensitivity to uncertainties on the runway.

2. Methodology

In this study, a two-stage stochastic programming model was developed considering both REP and ROT uncertainties. Various ETAD samples with a demand of 40 aircraft in an hour were solved to find the possible delay savings of the model compared to other methods, including FCFS, and deterministic approaches. In the first stage of the problem, FCFS and deterministic sequences were obtained without considering any uncertainty in the system. In the deterministic approach, while obtaining the sequence decisions, it was assumed that the aircraft will vacate the runway from the most probable exit point based on historical data (D point with 57sec ROT in our case study). Then, in the second stage, these sequence decisions obtained from first come first serve (FCFS) and deterministic (DET) models were applied with uncertainties. As a result, the value of the expected solution for FCFS (VES(FCFS)) and deterministic (VES(DET)) were obtained. In the stochastic model, on the other hand, both REP and ROT uncertainties were considered to obtain a sequence decision and the solution of the stochastic model (STC) was obtained directly. The total delay was obtained by applying the sequence decisions of the models. A comparison of these results enables us to find the best sequence strategy under REP and ROT uncertainties. The methodology of the study is summarized in Figure 2.

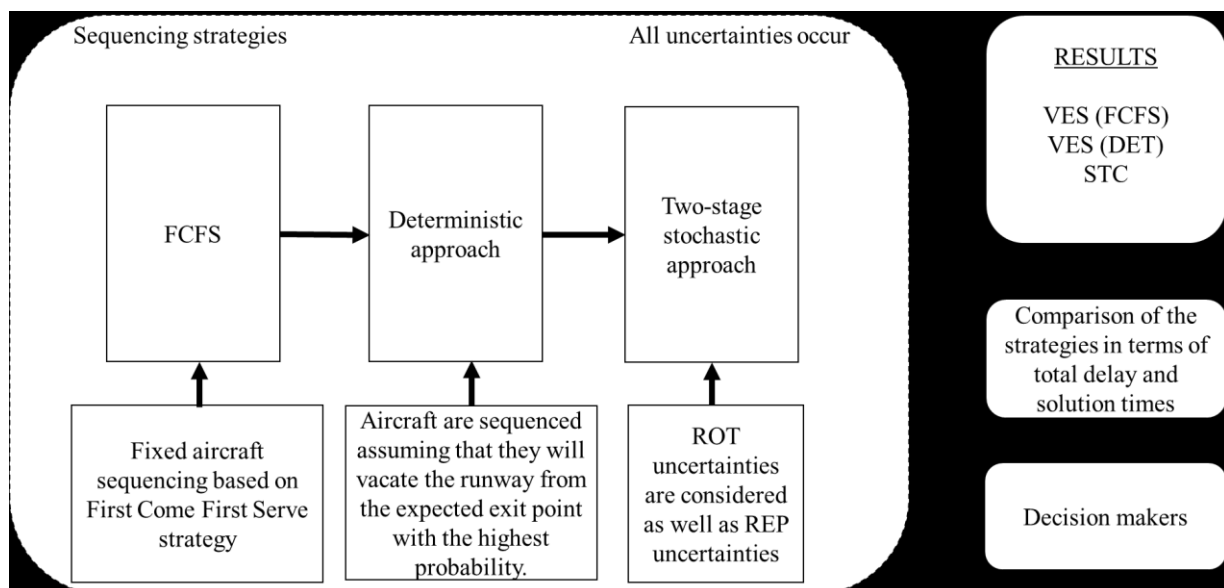


Figure 2. The methodology of the study

2.1. Data analysis

A total of 154 arrival flights' tracks were analyzed from 7 different days in April and May 2022. There were no significant differences between the observation days in terms of meteorological conditions and the wind was calm during the operations. The flight data includes flight IDs, aircraft type, wake turbulence categories, flight types (domestic or non-domestic), and flight tracks. The flight tracks include longitude-latitude, ground speeds, directions, altitudes, and time stamps. Based on the flight tracks, the REPs and ROTs of arrivals were obtained. The passing time of the runway threshold was taken to be the beginning of the runway occupancy. The passing time of the point where the aircraft completely vacate the runway was considered the end of runway occupancy. Figure 3 presents the number of aircraft including the flight type (domestic and non-domestic), accordingly, 81% of the flights to the airport were non-domestic and 19% were domestic. As seen in Figure 4, M and H category aircraft consist of 92%, and 8% of all arriving flights, respectively.

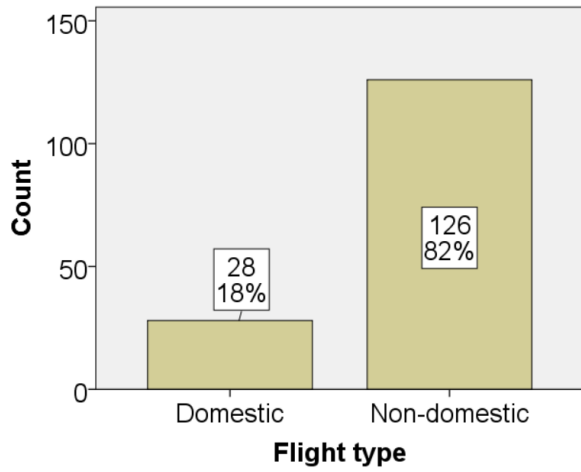


Figure 3. Number of arrival operations based on flight type

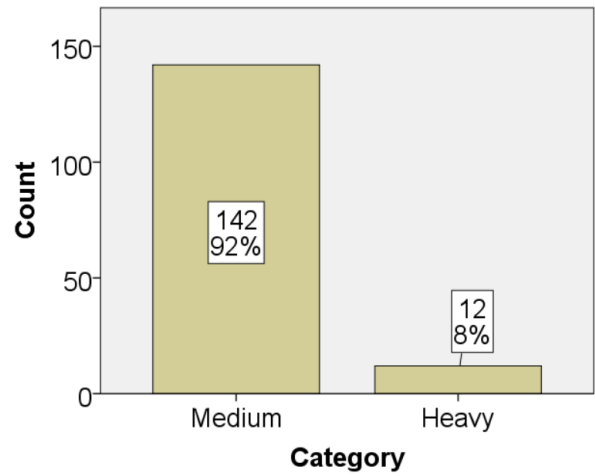


Figure 4. Number of arrival operations based on wake turbulence category

2.2. REP and ROT scenarios

As presented in Figure 5, 69%, 27%, and 4% of all flights vacated runways from D, C2, and B1, respectively. While the average ROTs for these points were 57, 79, and 130 seconds (Figure 6).

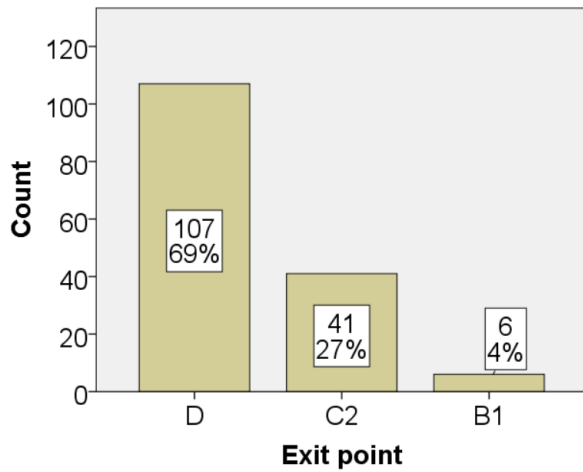


Figure 5. Frequency of the usages of the REPs

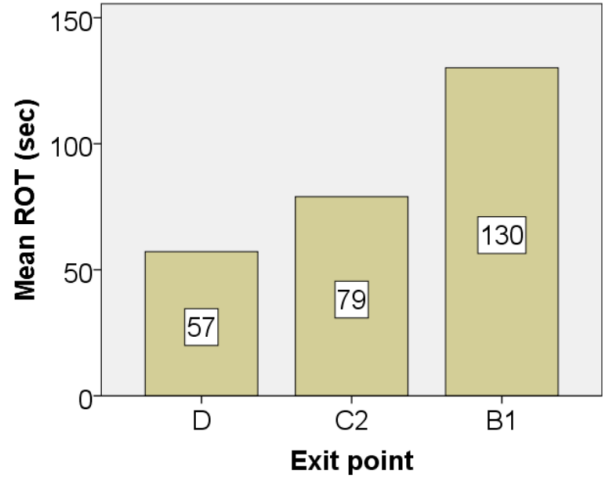


Figure 6. Mean ROTs based on REPs

Considering only the REP distributions, three scenarios can represent the uncertainties and can be integrated into the mathematical model. The scenarios are given in Table 2.

Table 2. REP scenarios and probabilities

Scenario	REP	Average ROT (sec)	Probability
Scenario 1	D	57	0.69
Scenario 2	C2	79	0.27
Scenario 3	B1	130	0.04

As mentioned above, only considering the REP uncertainties may not provide efficient sequences, because the ROT of aircraft can be different for the same REPs. ROT scenarios were determined with 15 seconds intervals to represent the ROT uncertainties. As a result, 3, 5, and 4 different ROT scenarios were considered for D, C2, and B1 exit points, respectively. Figure 7 shows the ROT intervals considering the REPs.

In our two-stage stochastic programming model, the medians of each interval were used to represent the interval. Therefore, the number of scenarios increased to 12 including for both REP and ROT probabilities, as given in Table 3.

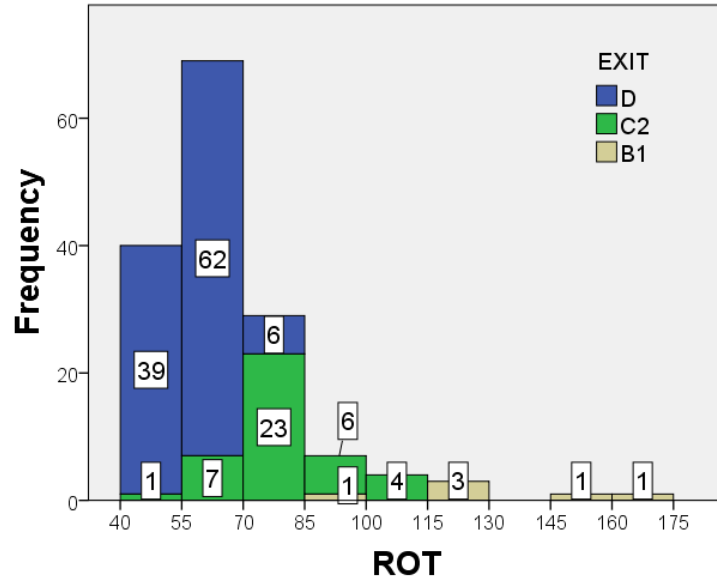


Figure 7. ROT distributions based on REPs

Table 3. The scenarios include the REP and ROT uncertainties.

Scenario	REP	Interval	Median of ROT (sec)	REP Probability	ROT Probability	Overall probability
Scenario 1	D	40-55	47.5	0.69	0.364	0.251
Scenario 2	D	56-70	63	0.69	0.579	0.400
Scenario 3	D	71-85	78	0.69	0.056	0.039
Scenario 4	C2	40-55	47.5	0.27	0.024	0.006
Scenario 5	C2	56-70	63	0.27	0.170	0.046
Scenario 6	C2	71-85	78	0.27	0.560	0.151
Scenario 7	C2	86-100	93	0.27	0.146	0.039
Scenario 8	C2	101-115	108	0.27	0.097	0.026
Scenario 9	B1	86-100	93	0.04	0.166	0.007
Scenario 10	B1	116-130	113	0.04	0.500	0.020
Scenario 11	B1	145-160	152.5	0.04	0.166	0.007
Scenario 12	B1	161-170	168	0.04	0.166	0.007

The Mann-Whitney U test was performed to find out whether there is a significant difference between the aircraft categories in terms of average ROTs. As a result, no significant difference between heavy and medium category aircraft in terms of average ROTs was found ($p=0.748$, $U: 929.0$). Mean ROTs of heavy and medium category aircraft were 65.8 and 66.3, respectively. Although different expected REPs for M and H category aircraft are declared in the AIP, the ROT distributions and performances of these aircraft types do not have statistically significant differences in our case study. The observed ROTs

considering the aircraft types and categories are given in Figure 8. A total of 12 different aircraft types were observed in the operations.

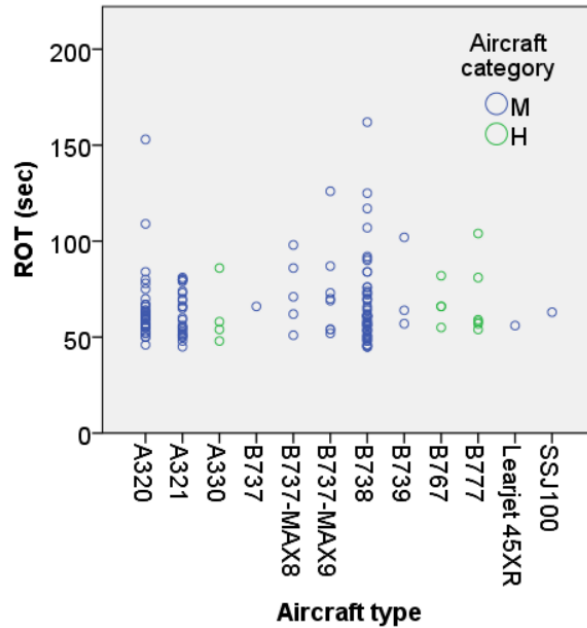


Figure 8. ROTs considering the aircraft types and categories

We also tested to see if there was a significant difference between the flight types (domestic and non-domestic) in terms of average ROTs. Again, no significant difference was found ($p=0.818$, $U: 1715.0$) between the flight types presented in Figure 9. As a result of these findings, the scenarios were not expanded to include aircraft categories and flight types.

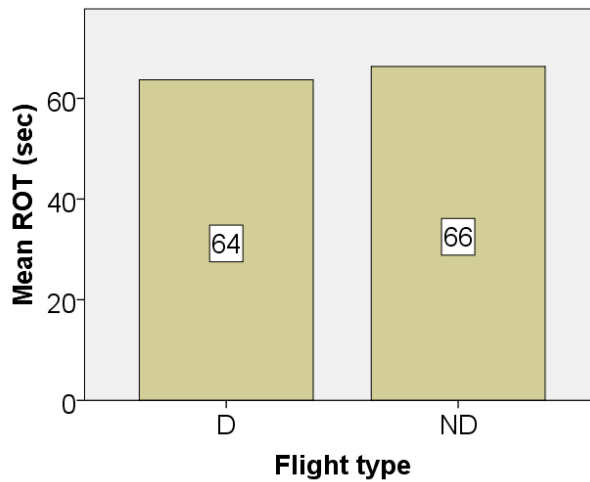


Figure 9. Mean ROTs considering the flight types

Note that the arrival-departure rate was determined as 50%-50% and the H-M rate was determined as 92%-8% based on real operations. However, the arrival rate increase scenarios were also examined to find out the arrival rate sensitivity of the model.

3. Mathematical Model

The proposed two-stage stochastic programming model includes the aircraft sequencing and scheduling problem for a single runway. This problem describes the sequencing of arrivals and departures with the

objectives under several operational constraints, such as separation or flight time. The indices and the sets of the problem are as follows. i and $j \in I$ describe the set of aircraft where $I = \{1,2 \dots 40\}$, $s \in S$ describes the set of scenarios where $S1 = \{1,2 \dots 12\}$, and $r \in R$ describes the set of runways where $R = \{1\}$. There are several operational parameters to solve the problem including s_i, f_i, t_i that describe the system entry time of the i^{th} aircraft, flight duration during the final approach path of the i^{th} arrival aircraft, and the taxi duration of the i^{th} departure aircraft, respectively. $M, P_s,$ and $W_{i,j}$ describe the large enough number, probabilities of the scenarios including REP and ROT uncertainties, and the separation parameter between the consecutive i^{th} and j^{th} aircraft, respectively. In stochastic programming, two types of decision variables are included in the problem, which are the first stage and the second stage decision variables. $a_{i,j}$, is a binary first stage variable that is 1 if the i^{th} arrival aircraft is assigned to the touchdown point of the runway before the j^{th} aircraft, and 0 otherwise. There are four second-stage variables in the problem: $l_{i,s}, d_{i,s}^{air}, d_{i,s}^{queue}$, and td_s describe the touchdown time of the i^{th} aircraft, the airborne delay of the i^{th} arriving flight, the queue delay of the i^{th} departing aircraft, and the total delay of arrival and departure aircraft in scenario s , respectively. Based on these parameters and decision variables some operational constraints are included in the model. Equations (1) and (2) determine the arrival touchdown times and departure times for each scenario (including both REP and ROT uncertainties), respectively.

$$l_{i,s} = s_i + f_i + d_{i,s}^{air} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad op(i) = 1 \quad (1)$$

$$l_{i,s} = s_i + t_i + d_{i,s}^{queue} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad op(i) = 2 \quad (2)$$

The maximum airborne delays for arrivals and queue delays for departures are limited to 600 seconds by Equations (3) and (4), respectively.

$$d_{i,s}^{air} \leq 600 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad op(i) = 1 \quad (3)$$

$$d_{i,s}^{queue} \leq 600 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad op(i) = 2 \quad (4)$$

Arrivals are assumed to be delayed by the controller, if necessary, before arriving at the final approach fix. Equation (5) ensures that all the aircraft are assigned to the same runway.

$$\sum_r^R x_{i,s,r} = 1 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (5)$$

Separations must be ensured between successive aircraft. ICAO regulates the separations for landing and take-off phases depending on the wake turbulence categories of aircraft (Dönmez et al., 2021; ICAO, 2017). However, a higher separation time than the ICAO wake turbulence separations is required in our case. For this type of runway, the minimum separation requirements are determined by authorities, based on the ROTs of aircraft (Dönmez et al., 2021). In our case, 4 NM separations must be ensured between successive arrivals. This corresponds to 110 seconds considering 130 kts constant final approach speed, and a 1-minute separation must be ensured after a departure aircraft begins its departure roll (2 minutes if the leading aircraft is H and the trailing is M category). Departure aircraft can take off after an arrival vacates the runway. Table 4 shows the separation requirement of the runway in our study.

Table 4. Separations

	Trailing aircraft	Arrival	Departure
Leading Aircraft	Arrival	4 NM (110 seconds)	ROT of arrival
	Departure	1 minute	1 minute*

*2 minutes if the leading aircraft is H and the trailing is M category.

Constraints (6) and (7) ensure the safe separation between successive aircraft.

$$l_{i,s} - l_{j,s} \geq W_{i,j} - M \cdot a_{i,j} \quad \forall i, j \in I, \forall s \in S \quad (6)$$

$$l_{j,s} - l_{i,s} \geq W_{i,j} - M \cdot (1 - a_{i,j}) \quad \forall i, j \in I, \forall s \in S \quad (7)$$

Equation (8) calculates the total delays for each scenario. Equation (9) describes the objective function to minimize the total delay by considering all scenarios and probabilities.

$$td_s = \sum_i^I d_{i,s}^{air} + d_{i,s}^{queue} \quad (8)$$

$$z1 = \min \sum_s^S td_s \cdot P_s \quad (9)$$

4. Results

In this section first 50%-50% arrival-departure mix traffic conditions were generated and solved for 10 different ETAD distribution samples for all models. All models were compared in terms of total arrival and departure delays. Then, the arrival rate was increased to 75% to examine the sensitivity of the model for arrival volume. In addition, arrival departure delay distributions in these samples were examined for both 50% and 75% arrival rate samples. Finally, the average solution times of the samples for all models were examined. Table 5 shows the delays (sec) for 10 different ETA samples with a 50% arrival rate.

As seen in Table 5, deterministic sequences were not feasible in 40% of the samples. This is because delay constraints in the model cannot be satisfied when the sequences are applied under REP and ROT uncertainties. In the STC model, on the other hand, all sequences have resulted in feasible solutions. Also, average delay savings of 12.34% and 0.55% were found compared to FCFS and DET models. As a result, the STC model presented robust and efficient sequences compared to the other models.

Table 5. Results of the ETA samples with a 50% arrival rate

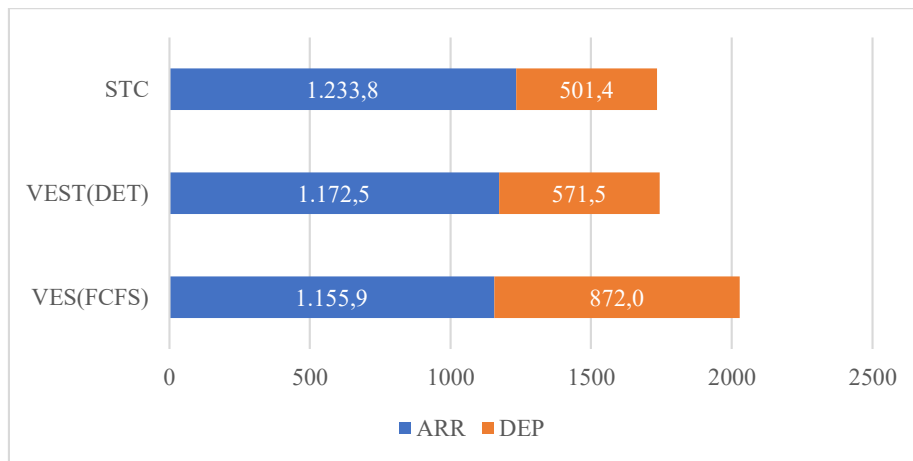
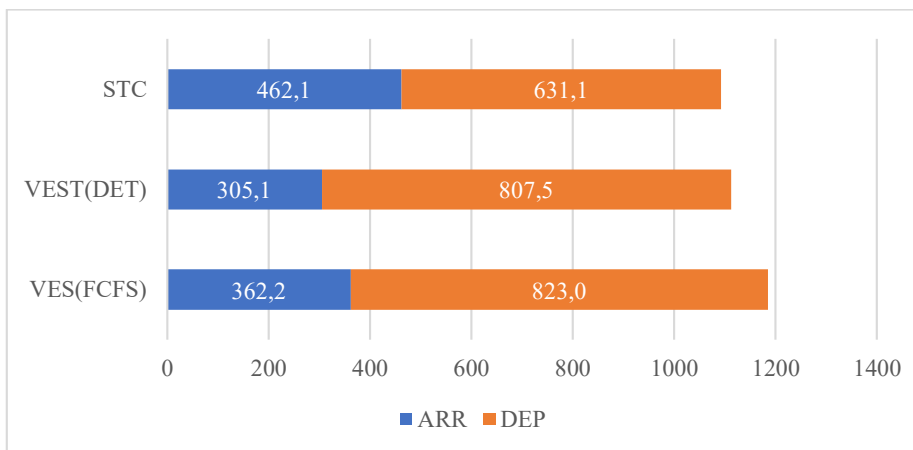
“	Model results			Delay savings of STC model %	
	VES(FCFS)	VEST(DET)	STC	Compared to FCFS	Compared to DET
1	1681.51	1547.09	1540.32	8.40	0.44
2	1902.09	Infeasible	1838.35	3.35	Not calculable
3	2292.43	1633.51	1633.51	28.74	0.00
4	2419.58	Infeasible	2191.48	9.43	Not calculable
5	2315.38	2122.51	2113.28	8.73	0.43
6	1599.93	1341.18	1318.53	17.59	1.69
7	1410.65	Infeasible	1267.31	10.16	Not calculable
8	2382.05	1915.57	1910.18	19.81	0.28
9	2230.06	Infeasible	1847.20	17.17	Not calculable
10	1895.86	1904.00	1895.30	0.03	0.46
Average	2027.86	1743.98	1735.19	12.34%	0.55%

Table 6 shows the result of the samples with 75% arrival rates. As seen in Table 6, the average saving of the STC model increased to 1.73% compared to the DET model. Also, note that all solutions provided by the DET model were feasible for all samples. This is because a more homogeneous mix is obtained with a lower number of departure aircraft entering between arrivals in the traffic mix. This mix allows that feasible sequences under uncertainties could be obtained with the deterministic approach. However, the STC model still offered a more robust and efficient solution compared to both FCFS and DET models.

Table 6. Results of the ETA samples with a 75% arrival rate

Sample	Model results			Delay savings of STC model %	
	VES(FCFS)	VES(DET)	STC	Compared to FCFS	Compared to DET
1	962.01	970.71	955.24	0.70	1.59
2	1341.38	1370.34	1334.60	0.51	2.61
3	1167.55	1075.07	1057.53	9.42	1.63
4	1201.95	1117.09	1094.20	8.96	2.05
5	1405.22	1319.52	1312.74	6.58	0.51
6	1093.73	989.00	988.99	9.58	0.00
7	890.84	914.38	890.85	0.00	2.57
8	1081.15	1081.15	1051.22	2.77	2.77
9	1432.94	1182.60	1147.59	19.91	2.96
10	1275.58	1105.41	1098.68	13.87	0.61
Average	1185.24	1112.53	1093.16	7.23%	1.73%

The delay distributions considering arrival and departure delays are also examined. Figures 10 and 11 present the models' results in terms of average delays of the samples that were solved with a 50% and 75% arrival rate, respectively.

**Figure 10.** Arrival-departure delays (sec) in samples with a 50% arrival rate**Figure 11.** Arrival-departure delays (sec) in samples with a 75% arrival rate

As seen in Figures 10 and 11, although the STC model resulted in higher arrival delays, it resulted in lower departure delays and total delays for both 50% and 75% arrival rates. This is due to the objective function of the models considering the total delays while providing optimal sequences. Another

efficiency metric in air traffic optimization problems is the average solution time (AST) of a sample. Lower solution times indicate a higher solution time efficiency of the models. The AST of the samples is presented in Figure 12 for all models.

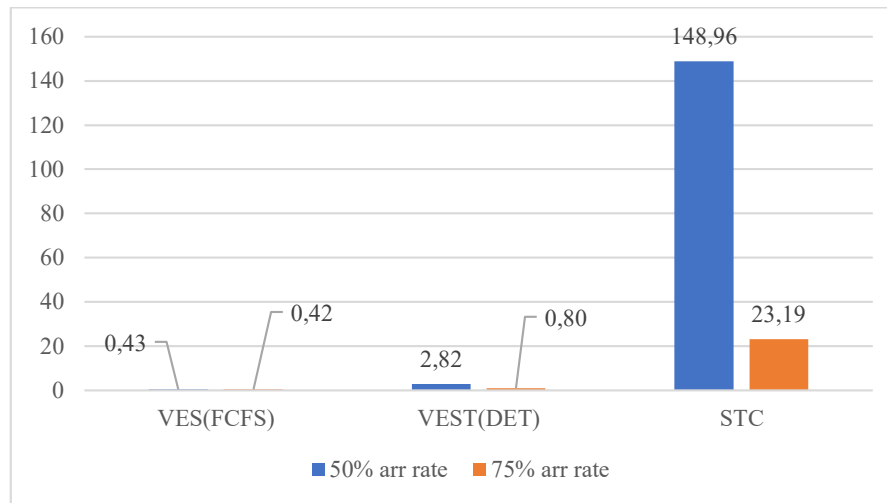


Figure 12. ASTs (sec)

As presented in Figure 12, the AST of the FCFS and DET models are significantly lower than the STC model. This is due to the STC model considering all uncertainties while providing the sequences. The DET model did not consider any uncertainty in the first stage of the problem, hence the ASTs of the samples were lower than the STC. FCFS, on the other hand, has fixed sequences, therefore the model finds solutions quickly. As seen in Figure 12, the AST of the STC model significantly decreased as the arrival rate increased.

5. Conclusion, discussion, and future work

In this study, a two-stage stochastic model was developed to find optimal arrival-departure sequences in terms of total delay for runways with multiple exits. The presented model considers both REP and ROT uncertainties. The developed model was also compared to other methods, such as FCFS and deterministic approaches. Various traffic samples with different arrival rates were solved to make clear comparisons between the models. As a result, the stochastic model was found to provide robust and efficient solutions compared to other models.

While the sequences presented by the STC model were applicable for 100% of all samples with a 50% arrival rate, the sequences presented by the DET model were not feasible in 40% of the samples for the objective of the minimization of the total delay. In addition, the delay savings of the STC model compared to the deterministic approach increased as the arrival rate increased. Note that the DET approach in this study considers the most probable runway exit of the aircraft while presenting a sequence. Therefore, the DET approach returned significantly better results than FCFS since it is based on historical data. It is noteworthy that the STC model has an advantage even over such a DET model. In the DET approach, if there were no historical data, sequences may be planned that assume aircraft will leave from the runway end or taxiway C2, which may result in more delays.

The STC model provided delay savings of up to 28.74% and 2.7% delay savings compared to FCFS and DET models, respectively. Considering arrival departure delay distributions, although sequences provided by the STC model resulted in higher arrival delays, it resulted in lower departure delays and total delays. This is due to the objective function of the models being determined considering the total delays while providing optimum sequences.

Although the AST of the STC model is higher than the other approaches, considering that the air traffic control planning horizon is approximately 2 hours, it was observed that the STC model gave solutions well within this time (between 0.1 and 2.5 minutes), for scenarios with 40 aircraft. However, considering

that the aircraft sequencing scheduling problem increases exponentially with the number of aircraft, it should be noted that heuristic algorithms may be needed for scenarios involving higher aircraft numbers.

The result of this study indicates that the STC model can be easily applied to runways with multiple exit points and provides efficient and robust solutions compared to other models, within acceptable time limits. However, the model can be improved by observing and analyzing more radar track data. Observing more flights can increase the number of possible scenarios. Also, including two-way operations considering sudden wind changes in the model can increase its realism. However, all these conditions may increase solution times, and heuristics and metaheuristic approaches may be needed, which can be performed with future work.

Researchers' Contribution Rate Statement

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

Acknowledgement

This research received no specific grant from any funding agency

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest to declare.

References

- AIP Turkey.** (2022). Aeronautical Information Publication; <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/aipturkey.aspx>
- Alonso, A., Escudero, L. F., & Teresa Ortuño, M.** (2000). A stochastic 0–1 program based approach for the air traffic flow management problem. *European Journal of Operational Research*, 120(1), 47–62. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00381-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00381-6)
- Atkin, J. A. D., Burke, E. K., Greenwood, J. S., & Reeson, D.** (2008). On-line decision support for take-off runway scheduling with uncertain taxi times at London Heathrow airport. *Journal of Scheduling*, 11(5), 323–346. <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0065-9>
- Cecen, R. K., Cetek, C., & Kaya, O.** (2020). Aircraft sequencing and scheduling in TMAs under wind direction uncertainties. *The Aeronautical Journal*, April, 1–17. <https://doi.org/10.1017/aer.2020.68>
- Dai, L., & Hansen, M.** (2020). Real-Time Prediction of Runway Occupancy Buffers. *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics for Air Transportation (AIDA-AT)*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/AIDA-AT48540.2020.9049165>
- Dönmez, K., Çetek, C., & Kaya, O.** (2021). Aircraft Sequencing and Scheduling in Parallel-Point Merge Systems for Multiple Parallel Runways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 036119812110494. <https://doi.org/10.1177/03611981211049410>
- Hanbong Lee, & Balakrishnan, H.** (2012). Fast-time simulations of Detroit Airport operations for evaluating performance in the presence of uncertainties. *2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 4E2-1-4E2-13. <https://doi.org/10.1109/DASC.2012.6382349>
- Hockaday, S. L. M., & Kanafani, A. K.** (1974). Developments in airport capacity analysis. *Transportation Research*, 8(3), 171–180. [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(74\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0041-1647(74)90004-5)
- ICAO.** (2005). *Aerodrome Design Manual (Doc 9157) Part 2 Taxiways, Aprons and Holding Bays.*
- ICAO.** (2017). *Procedures for air navigations services Air traffic management (Doc. 4444).*
- Jeddi, B. G., Shortle, J. F., & Sherry, L.** (2006). *Statistics of the Approach Process at Detroit Metropolitan Wayne County Airport.* 703, 1–8.

- Martinez, D., Belkoura, S., Cristobal, S., Herrema, F., & Wächter, P.** (2018). A boosted tree framework for runway occupancy and exit prediction. *SESAR Innovation Days, December*.
- Matthews, M., Wolfson, M., DeLaura, R., Evans, J., Reiche, C., Balakrishnan, H., & Michalek, D.** (2009). Measuring the Uncertainty of Weather Forecasts Specific to Air Traffic Management Operations. *Aviation, Range, and Aerospace Meteorology Special Symposium on Weather-Air Traffic Management Integration*, 1–17. <http://tinyurl.com/cg5ldwc>
- Meijers, N. P.** (2019). *Data-driven predictive analytics of runway occupancy time for improved capacity at airports. December*. [https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/128034%0Afiles/300/Meijers - 2019 - Data-driven predictive analytics of runway occupan.pdf%0Afiles/301/128034.html](https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/128034%0Afiles/300/Meijers%202019%20Data-driven%20predictive%20analytics%20of%20runway%20occupancy.pdf%0Afiles/301/128034.html)
- Nguyen, A., Pham, D., Lilith, N., & Alam, S.** (2020). *Model Generalization in Arrival Runway Occupancy Time Prediction by Feature Equivalences. Icrat*.
- Nikoleris, T., & Hansen, M.** (2016). Effect of Trajectory Prediction and Stochastic Runway Occupancy Times on Aircraft Delays. *Transportation Science*, 50(1), 110–119. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0599>
- Rappaport, D., Yu, P., Griffin, K., & Daviau, C.** (2009). Quantitative Analysis of Uncertainty in Airport Surface Operations. *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO), September*, 1–16. <https://doi.org/10.2514/6.2009-6987>
- Shone, R., Glazebrook, K., & Zografos, K. G.** (2021). Applications of stochastic modeling in air traffic management: Methods, challenges and opportunities for solving air traffic problems under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 292(1), 1–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.039>
- Stamatopoulos, M. A., Zografos, K. G., & Odoni, A. R.** (2004). A decision support system for airport strategic planning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(2), 91–117. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2002.10.001>
- Tielrooij, M., Borst, C., Mulder, M., & Nieuwenhuisen, D.** (2013). Supporting arrival management decisions by visualising uncertainty. *SIDs 2013 - Proceedings of the SESAR Innovation Days, November*.
- Trani AA, Hobeika AG, Sherali HD, Kim BJ, Sadam CK.** (1990) Runway Exit Designs for Capacity Improvement Demonstrations.

Araştırma Makalesi

Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Çatma Kusur Oranlarının Belirlenmesi

Oğuzhan Gürel^{1, *}, Yunus Emre Şenol¹, Serdar Kum¹

¹ Department of Maritime Transportation and Management Engineering, Maritime Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

*Correspondence: gurelo@itu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1143303

Özet: Çatışma kazaları deniz kazalarının önemli bir yüzdesini oluşturmakta olup, uluslararası ve ulusal kurallar dahilinde birçok önlem alınmasına rağmen halen yaşanmaya devam etmektedir. Çatışma kazaları sonrası gemilerin kusur dağılımının belirlenmesi aşaması mahkemeler tarafından görevlendirilen bilirkişilerce yürütülmektedir. Bu süreç çatışmayı önleme kurallarının uygulanmasındaki ihlallerin tespit edilerek yüzdesel kusur oranının belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Oldukça karmaşık ve çok fazla değerlendirme kriterinin aynı anda göz önünde bulundurulması gereken bu geleneksel yöntem ile problemin karmaşıklığından dolayı objektif karar vermek oldukça zor olabilmektedir. Bu çalışmada bilirkişilere bu noktada karar desteği sağlayabilmek amacıyla çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak model algoritması oluşturulmuştur. Çatışma kazası analizinde çatışma için uygulamada olan kural kriterlerinin ağırlıklandırılması AHP yöntemi ile yapılandırılmış, aynı kriterler üzerinden gemilerin kusurlarının tespiti için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bilirkişilerin çok kriterli karar verme yöntemini kullanacağı Excel tabanlı arayüz oluşturulmuş ve emsal karar verilen mahkeme kararları üzerinden model uygulaması yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucunda emsal karar verilen mahkeme kararları ile model çıktıları benzer sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çatışmayı önleme kuralları, çok kriterli karar verme, emsal dava sonuçları, kusur oranı

Determining the collision apportionment of fault by using Multi-Criteria Decision Making Approach

Abstract: Collision accidents constitute a significant percentage of maritime accidents, and they still continue to occur despite many precautions taken within international and national rules. The stage of determining the fault distribution of ships after collision accidents is carried out by experts appointed by the courts. This process is carried out by detecting the violations in the implementation of the collision prevention rules and determining the apportionment of fault. Due to the complexity of the problem, it could be challenging to make an objective decision with this traditional method, which is quite complex and requires many evaluation criteria to be considered at the same time. In this study, a model algorithm was proposed by using multi-criteria decision making methods in order to provide decision support to the experts. In the collision accident analysis, the weighting of the rule criteria applied for the collision was structured with the AHP method, and the TOPSIS method was used to detect the faults of the ships over the same criteria. An excel-based interface was created in which experts will employ the multi-criteria decision-making method where a model application was created based on precedent decisions. As a result of these applications, the model outputs were validated with the court decisions and observed similar results.

Keywords: Collision regulations, multi-criteria decision making, apportionment of fault, precedent decisions

* Corresponding author.

E-mail address: gurelo@itu.edu.tr

ORCID: 0000-0002-7534-855X -0000-0001-7592-72470000-0002-6705-4076

Received 12.07.2022; accepted 27.07.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Gemiler tüm dünya sularında seyir yaparken yürürlükteki kanunlar, kurallar doğrultusunda, tüm önleyici tedbirlerin alınmasına rağmen birçok deniz kazası yaşanmakta ve sonucunda ölüm, yaralanma ve maddi hasarlarla karşılaşmaktadır. Bu kazaların önemli bir kısmı da çatışma kazaları olup 2014 - 2020 yılları arasında 2003 çatışma kazası yaşanmıştır (EMSA, 2021). Çatma iki veya daha fazla geminin doğrudan veya dolaylı olarak çarpışmasıyla oluşur. Dünyada küresel ticaretin gün geçtikçe artması nedeniyle deniz trafiği yoğunlaşmış ve çevreye, gemilere, gemilerde taşınan yükler ve denizcilere yönelik kaza riski oldukça artmıştır. Çatma kazalarını engellemek ve zararları önlemek amacıyla çatma hukuku oluşturulmuş ve yıllar içinde yapılan güncellemelerle en iyi sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Türk Ticaret Kanunu'nda bu ifade çatma olarak geçmesine rağmen, uygulamada denizciler çatışma ifadesini kullanmaktadır (TTK, 2011). Bunun da sebebinin Uluslararası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'nün resmi tercümesinde "Collision" ifadesinin "çatışma" olarak çevrilmesinden kaynaklandığı görülmektedir. 6102 sayılı TTK'da çatmanın tanımı yapılmış olmamasına rağmen çatmanın unsurları açıklanmaktadır. Çatmanın oluşabilmesi için araçların her birinin gemi olması gerekmekte ve taraflar arasında hukuki sözleşmeden doğan herhangi bir bağ olmamalıdır.

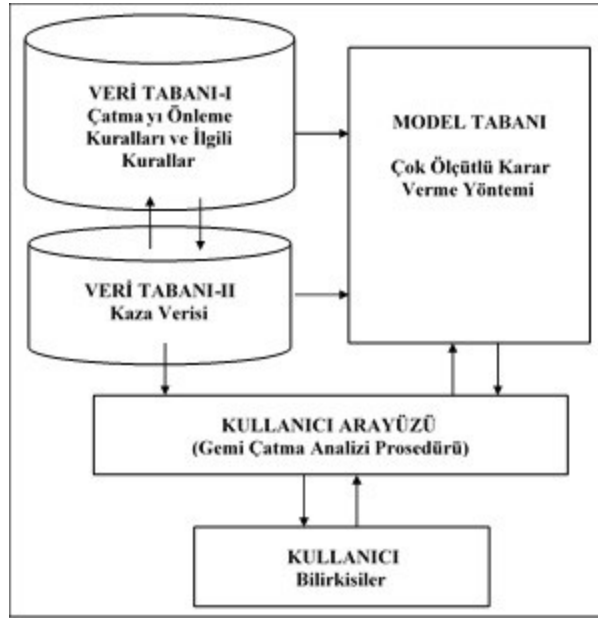
Çatışma kazaları sonrasında tarafların kazadaki kusur dağılımlarının belirlenmesi yetkili mahkeme ve görevlendirilen bilirkişi heyetleri tarafından çatma hukuku çerçevesinde geleneksel olarak gerçekleştirilmektedir. Hava ve çevre şartları, insan faktörü, seyir alanı, gemi karakteristikleri gibi birçok etkeninin göz önünde bulundurulması gereken bu süreçte kompleks bir karar problemi ile karşılaşmaktadır. Bu konuda verilen kararların tutarlılığı göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu eksiklik, bilirkişilerin subjektif kararlar verme ihtimalini artırmaktadır. Bu nedenle söz konusu problemin çözümüne yönelik sistematik, akılcı, karara etki edebilecek tüm faktörlerin birer birer göz önünde bulundurulduğu metodolojik bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak çatışmaya etki eden faktörlerin sistematik şekilde önceliklendirilmesi ve kazaya karışan gemiler arasında bu faktörlerin ağırlıklandırılması ve nihai olarak tarafların kusur dağılımlarının bilimsel yaklaşımla belirlenmesi hedeflenerek literatürdeki önemli bir boşluk doldurulacaktır.

Detaylı literatür çalışması neticesinde, denizde çatışma sonrası kusur oranlarının belirlenmesi problemine yönelik kısıtlı sayıda çalışma olduğu ve söz konusu problemin çözümüne yönelik sistematik, akademik açıdan güçlü bir yöntem ya da model önerilmediği görülmektedir. Hald (2007) 1973-2007 yılları arasında Kuzey Denizi'nde yaşanan kazaların mahkeme sonuçlarını incelemiş, kazalarda etkin olan kuralların ortaya konmasına odaklanmıştır. Ayrıca bu çalışmada mahkemelerin kusur oranlarına karar verirken karar verme eğilimleri ve alışkanlıkları tespit etmiştir. Buna göre çatışma kazalarında %50-%50 kusur oranı dağılımının kazaların %12'sinde gerçekleştiği, %60-%40 ya da %75-%25 oranlarının çok tercih edilmediği, %80-%20 oranının nispeten daha çok tercih edildiği ve %90-%10 oranının hiç tercih edilmediği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar da çatışmada kusur oranlarının tespit edilmesi sürecinin hakimlerin bilgi, tecrübe ve olayı ele alış şekillerine bağlı olarak öznel yargılardan etkilenebileceğini göstermektedir. Sıklıkla tercih edilen oranlardan olan %50-%50 oranı ile kusurun dağıtıldığı kazaların bazılarında çok küçük oranlarda da olsa farklılıklar olabileceği aşıkardır. Fakat bu farklılık geleneksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmesi oldukça zor ve bilimsellikten uzak olacaktır. Bu nedenle söz konusu problemin çözümünde objektif, sistematik ve akademik yaklaşımlarla daha hassas karar süreci yürütülmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Şenol ve diğ. (2013) çatışma kazalarının sorumluluk oranlarının belirlenmesinde metodolojik bir yaklaşım önermişlerdir. AHP yönteminin kullanıldığı çalışma daha sonra geliştirilmiştir (Senol & Sahin, 2016). Generic Fuzzy-AHP (GF-AHP) yönteminin kullanıldığı, bir örnek vakanın simülatör ortamında canlandırılması, GF-AHP sorveyine katılan uzmanlara senaryonun simülatörde yaşatılması ve ardından kazaya etki eden kural ihlallerinin önceliklendirilmesi ile sorumluluk oranlarının belirlenmesi esasına dayanan bir yöntem önermişlerdir. Ancak çalışmada önerilen çözüm yöntemi yalnızca ele alınan örnek vaka için uygun olduğundan tüm çatışma kazalarının değerlendirilmesi hususunda yetersiz kalabilmektedir. Bu makalede önerilen AHP-TOPSIS hibrit yaklaşımı ve sunulan modelin tüm çatışmalara uygulanabilir olması sayesinde literatürdeki diğer çalışmalardan akademik yaklaşımı ve tüm kaza analizlerine genel çözüm sunması özellikleri ile ayrılmaktadır. Ayrıca emsal dava sonuçları ile kıyaslanarak sonuçlarının doğrulanmış olması objektif ve rasyonel çözüm anlamında avantajı hale gelmesini sağlamaktadır.

Qveim- Leikander (2018) İskandinav sularında 1918-2018 yılları arasında yaşanan 315 farklı çatışmanın mahkeme sonuçlarını incelemiş ve sorumluluk oranlarının belirlenmesinde karara etki eden faktörleri ortaya koymuştur. Fakat söz konusu çalışmada sorumlulukların ve hata oranlarının belirlenmesi konusunda bir çözüm geliştirilmemiştir. Bambulyak ve Ehlers (2020) arktik seyir bölgesinde yaşanabilecek çatışma sonrasında denize petrol sızıntısı olması halinde sorumlulukların belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada denize sızan petrol miktarı ve yayılım oranına göre cebirsel bir hesaplama yapılmıştır ancak, çatışma sorumlulukların ve hata oranlarının belirlenmesi konusunda bir çözüm geliştirilmemiştir. Qi (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Çin yerel kurallarına göre çatışma olaylarının incelenmiş, mahkeme heyetinin ve hakimlerin çatışmadaki kusur oranlarının belirlenmesinde bilgili ve tecrübeli olması gerektiği vurgulanmış fakat hata oranlarının belirlenmesi konusunda yöntemsel alternatif bir çözüm sunulmamıştır.

Bu çalışmada kusur oranlarının belirlenmesi için hibrit çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Kazadaki kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi, ağırlıkları tespit edilen kriterler ağırlıkları ile kazaya karışan gemiler için kusur oranları ise İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. AHP yöntemi karara etki eden faktörlerin ikili kıyaslamaları ile oluşturulan matrislerden oluşmaktadır ve bu matrislerin tutarlılıklarının analiz edilebilmesine imkan sağlaması sayesinde şeffaf, objektif ve nesnel bir çözüm sunabilmektedir. TOPSIS yöntemi ise basit, rasyonel, anlaşılabilir her bir alternatif seçim hesaplamalarındaki verimliliği nedeniyle karar verme amacıyla birçok alanda tercih edilmektedir.

Şekil 1’de çalışma kapsamında oluşturulan modelin algoritması gösterilmiştir. Buna göre bilirkişiler çatışma kazası ile ilgili veri toplama süreci ile başlayacak ve bunun için tanıdıkların ifadesi, elektronik seyir cihazları gibi kazaya ilişkin verileri kullanacaktır. Toplanan veri ile kazaya özel uygulanması gereken ilgili kural ve düzenlemeler eşleştirilecektir. Ardından kullanıcı arayüzü ile bilirkişiler tarafından modele veri girişi sağlanarak model uygulaması gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Model algoritması.

2. Metodoloji

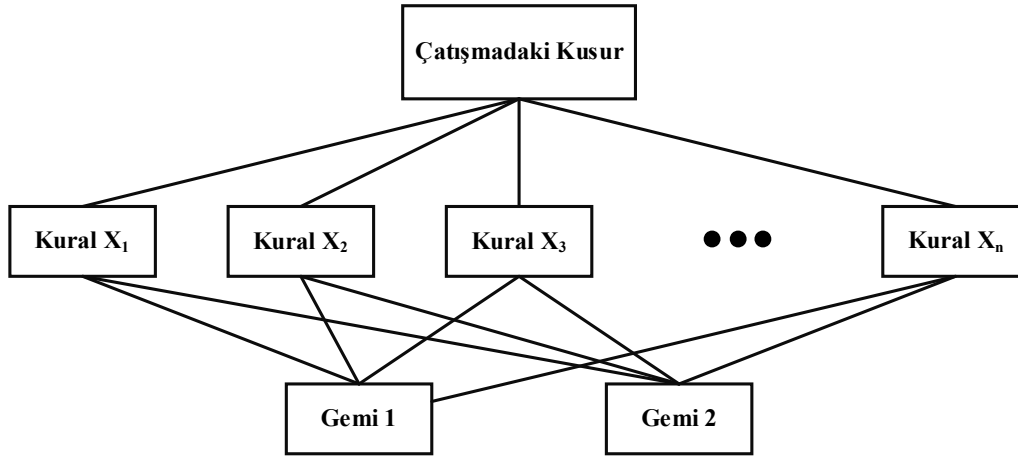
Bu çalışmada kriter olarak belirlenen ve analiz edilecek çatışma kazası için uygulamada olan kuralların ağırlıklarının belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ve önceliklendirilen kriterler için kazaya karışan her bir geminin kusur oranlarının hesaplanması için İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS) yöntemi kullanılmıştır.

2.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

AHP, karar vermeye etki eden çok fazla faktörün söz konusu olduğu kompleks sistemlerde alan uzmanlarının görüşlerinden faydalanarak subjektif etkinin en aza indirildiği Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) metotları arasında sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir (Ho, 2008; Pereira & Bamel, 2022). Alan uzmanlarının bilgi, tecrübe, düşünce ve ön sezilerinin mantıksal bir çerçevede karar verme sürecine aktarılabilmesini sağlamaktadır (Ömürbek ve diğ., 2015). Thomas L. Saaty (1980) tarafından geliştirilen yöntem günümüze kadar mühendislik, tıp, üretim, işletme yönetimi, ekonomi ve psikoloji gibi pek çok alanda karar verme amacıyla kullanılmıştır. Yöntem karara etki eden faktörlerin ikili kıyaslamaları ile oluşturulan matrislerden oluşmaktadır ve bu matrislerin tutarlılıklarının analiz edilebilmesine imkan sağlaması sayesinde şeffaf, objektif ve nesnel bir çözüm sunmaktadır (Awan ve diğ., 2022; Gupta ve diğ., 2022; Pathan ve diğ., 2022; Pereira & Bamel, 2022). Karmaşık karar verme süreçlerinde ana karar (çatışmadaki kusur), karara etki eden kriter ve alt kriterleri (DÇÖT kuralları) ile karar alternatifleri (çatışan gemiler) arasındaki ilişkiyi ve hiyerarşik etkileşimi dikkate alarak model oluşturma imkanı sağlamaktadır. Denizcilik alanında; gemi ekipmanları teknoloji seçimi (Sahin ve diğ., 2015), gemi sicili seçimi (Celik ve diğ., 2009), denizcilerin kariyer planlaması (Kaya ve diğ., 2018), liman yeri seçimi (Uçdu & Kılıç, 2022), deniz kazaları analizi (Şenol ve diğ., 2013), otonom gemilerin güçlü-zayıf-fırsat-tehdit (SWOT) analizi (Şenol ve diğ., 2017) ve deniz turizm alanlarının belirlenmesi (Butowski, 2018) gibi pek çok problemin çözümünde sıklıkla tercih edilen ÇKKV yöntemi olmuştur. AHP yöntemine ait metodolojik işlem basamakları aşağıda sunulmuştur;

1) Hiyerarşik yapının oluşturulması

Ana karar hiyerarşik ağacın en üstünde olacak şekilde karar hiyerarşisinin oluşturulması aşamasıdır. Aralarında korelasyon bulunmayan karara etki eden kriterler ve varsa ilgili alt kriterlerin belirlenmesi ve yapının en altında alternatiflerin konumlandırılması sürecini ifade etmektedir. Söz konusu hiyerarşik ağacın çalışma özelinde bir örneği Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. AHP hiyerarşik yapısı.

2) Önceliklerin oluşturulması

1. adımda oluşturulan kriterlerin ikili karşılaştırması için Saaty (1990) tarafından önerilen, Çizelge 1’de gösterilen 1-9 aralıklı önem ölçeği kullanılmaktadır. Bu ölçeğin tercih edilmesinin sebebi, karar vericilerin ara karar değerlerini daha doğru ve hassas şekilde ifade edebilmesine izin vermesidir.

Çizelge 1. Önem ölçeği.

Öncelik Dereceleri	Tanım
1	Kriterler eşit önemdedir veya kayıtsız kalınıyor
3	1. kriter 2. kriter göre biraz daha önemli
5	1. kriter 2. kriter göre daha fazla önemli
7	1. kriter 2. kriter göre çok daha fazla önemli
9	1. kriter 2. kriter göre aşırı derecede daha önemli
2-4-6-8	Ara değerler

Görüşleri alınan uzmanlar her bir kriter ikili karşılaştırması için fikirlerini yansıtan öncelik derecesine göre kıyaslama yaparlar. Elde edilecek bu rakamsal karşılaştırmalar 3. adımda kullanılacaktır.

3) İkili karşılaştırma matrislerinin (A) oluşturulması

2. adımda gösterilen öncelik derecelerine göre uzmanların gerçekleştirdikleri ikili kıyaslamaları içeren ($n \times n$) boyutunda matrislerin oluşturulması aşamasıdır. (n : kriter sayısı)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & \dots \\ 1/x_{21} & 1 & x_{23} & \dots & \dots \\ 1/x_{31} & 1/x_{32} & 1 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/x_{n1} & 1/x_{n2} & 1/x_{n3} & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (1)$$

4) Öncelik Vektörünün (W) oluşturulması

Öncelik vektörlerinin hesaplanması için bu aşamada ilk olarak matrisin normalleştirilmesi işlemi gerçekleştirilir. Her bir sütun değerinin ilgili sütun elemanlarının toplamına bölünmesi sonucunda normalize edilmiş değerler (x'_{ij}) hesaplanır. Normalize edilmiş matrisin her bir sütununun toplamı 1 olur.

$i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere;

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2)$$

Normalize edilmiş değerlerden oluşan matrisin her bir satırının toplamının aritmetik ortalaması alınarak ilgili kriterin yüzdelik önem değerleri (w_i) hesaplanır;

$$w_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n x'_{ij} \quad (3)$$

Hesaplanan yüzdelik önem değerlerine göre oluşturulan öncelik vektörü aşağıdaki gibidir;

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

5) Tutarlılık oranının hesaplanması

Bu aşamada uzmanların gerçekleştirdiği her bir kriter ikili kıyaslamalarının tutarlılığı kontrol edilmektedir. Tutarlılık oranının (CR) hesaplandığı bu süreç kriter sayısı ile Temel Değer (λ) adı verilen katsayının kıyaslanması ile gerçekleştirilir. λ değerinin hesaplanması için öncelikle A ve W vektörünün matris çarpımı gerçekleştirilir ve C sütun vektörü elde edilir;

$$C = \begin{bmatrix} 1 & x_{12} & x_{13} & \dots & \dots \\ 1/x_{21} & 1 & x_{23} & \dots & \dots \\ 1/x_{31} & 1/x_{32} & 1 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/x_{n1} & 1/x_{n2} & 1/x_{n3} & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

C sütun vektörü elemanlarının W sütun vektörünün elemanlarına karşılıklı olarak bölünmesi ile her bir kriter için temel değer vektörü (E) elde edilir;

$$E_i = \frac{c_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

Elde edilen E vektörüne ait elemanların aritmetik ortalaması ise karşılaştırmaya ilişkin temel değer olan λ değerinin hesaplanmasını sağlar;

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (7)$$

Bu aşamadan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI) değeri hesaplanır;

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (8)$$

Son olarak, tutarlılık oranı (CR) hesaplaması için elde edilen CI değeri kriter sayısına (n) göre değişiklik gösteren ve Çizelge 2’de verilen standart düzeltme değeri olan Rassallık İndeksi (RI) değerine bölünerek hesaplanır (Saaty, 1986);

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Çizelge 2. Rassallık indeksi (Saaty, 1986).

n	RI	n	RI
1	0	6	1,24
2	0	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,9	9	1,45
5	1,12	10	1,49

Hesaplanan CR değerinin 0,10’dan küçük olması uzmanın gerçekleştirdiği değerlendirmenin tutarlı olduğunu, büyük olması ise uzman cevaplarında tutarsızlık olduğu anlamına gelmektedir.

6) Kriterler önceliklerinin hesaplanması

Bu aşamada her bir kriterin alternatifler (çatışan gemiler) üzerindeki ağırlıkları hesaplanmaktadır. Bu çalışmada karara etki eden kriterlerin sıralaması için AHP yöntemi, ağırlıkları belirlenen kriterlerin alternatifler üzerindeki ağırlıklarının hesaplanması için TOPSIS yöntemi kullanıldığı için tutarlı sonuçlar elde edilmesi halinde 4. basamakta hesaplanan kriter ağırlıkları ile TOPSIS yöntemi kullanarak alternatifler üzerindeki ağırlıkları hesaplanmıştır.

2.2. İdeal çözüme benzerliğe göre sıralama tekniği (TOPSIS)

İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (TOPSIS) Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok kriterli karar verme yöntemi olarak önerilmiştir. Basit, rasyonel, anlaşılabilir her bir alternatif seçim hesaplamalarındaki verimliliği nedeniyle karar verme amacıyla çok farklı disiplinlerde sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisidir (Roszkowska, 2011). TOPSIS yöntemi tedarik zincir yönetimi (Nazim ve diğ., 2022), savunda endüstrisi (Dağdeviren ve diğ., 2009), enerji endüstrisi (Amiri, 2010), inşaat endüstrisi (İqbal ve diğ., 2021), tıp (Khambhati ve diğ., 2021), ekonomi (Gao ve diğ., 2022) ve denizcilik (Kara, 2022) gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir. TOPSIS yöntemine ait metodolojik işlem basamakları aşağıda sunulmuştur;

1) Karar matrisinin oluşturulması ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Oluşturulacak olan karar matrisinin satırlarında alternatifler, sütununda ise kriterler yer almaktadır. Buna göre $m \times n$ boyutunda karar matrisi elde edilir. (m alternatif sayısı, n kriter sayısı) Her bir kriterin her bir alternatif açısından ağırlıkları belirlenmiş bir skala aralığında uzmanlar tarafından karar verilerek değerleri y_{mn} belirlenir.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 x_1 & x & x_3 & \dots \\
 \hline
 a_1 & \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & \dots \\
 a_2 & \begin{bmatrix} y_{21} & y_{22} & y_{23} & \dots \\
 a_3 & \begin{bmatrix} y_{31} & y_{32} & y_{33} & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 a_m & \begin{bmatrix} y_{m1} & y_{m2} & y_{m3} & \dots
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}
 \tag{10}$$

2) Karar matrisinin normalizasyonu (R_{ij})

Karar matrisindeki her bir elemanın ilgili sütundaki tüm elemanların karelerinin toplamının kareköküne bölünmesi ile elde edilen değerler matristir. Aşağıdaki formül ile elde edilir;

$$R_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}}
 \tag{11}$$

3) Değerlerin ağırlıklı normalizasyonu (V_{ij})

AHP süreci sonunda belirlenen her bir kriter ağırlığı ile elde edilen normalize karar matrisi sütun elemanlarının çarpımı sonucunda elde edilen matrisi ifade etmektedir.

$$V_{ij} = w_j \cdot y_{ij}
 \tag{12}$$

Elde edilen matris aşağıdaki gibidir.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 y_{11} & w_2 y_{12} & w_3 y_{13} & \dots & \dots \\
 w_1 y_{21} & w_2 y_{22} & w_3 y_{23} & \dots & \dots \\
 w_1 y_{31} & w_2 y_{32} & w_3 y_{33} & \dots & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 w_1 y_{m1} & w_2 y_{m2} & w_3 y_{m3} & \dots & \dots \end{bmatrix}
 \tag{13}$$

4) İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) çözüm değerlerinin elde edilmesi

İdeal çözüm değeri elde edilen ağırlıklı normalize matrisinde her bir kriter özelinde en yüksek değere sahip alternatifin değerini ifade ederken Negatif İdeal çözüm değeri ağırlıklı normalize matrisinde her bir kriter özelinde en düşük değere sahip alternatifin değerini ifade etmektedir.

$$A^* = \left\{ \left(\max v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \tag{14}$$

$$A^* = \{V_1^+, V_2^+, V_3^+, \dots, V_j^+, \dots, V_k^+\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n
 \tag{15}$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, V_3^-, \dots, V_j^-, \dots, V_k^-\}$$

J : fayda (maksimizasyon) değerini, J' kayıp (minimizasyon) değerini ifade etmektedir.

5) İdeal (S_i^*) ve ideal olmayan (S_i^-) noktalara olan uzaklık değerinin elde edilmesi

Her bir alternatif için S_i^* değeri 3. basamakta elde edilen matristeki sütun elemanlarının her bir alternatif karşılık gelen değerler ile ideal çözüm değeri arasındaki farkın karelerinin toplamının karekökü olarak ifade edilir. Her bir alternatif için S_i^- değeri ise 3. basamakta elde edilen matristeki sütun elemanlarının her bir alternatif karşılık gelen değerler ile negatif ideal çözüm değeri arasındaki farkın karelerinin toplamının karekökü olarak ifade edilir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^*)^2}, \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - V_j^-)^2}
 \tag{16}$$

6) İdeal çözüm göre nispi yakınlığın (D_i^*) hesaplanması

Her bir alternatif için D_i^* değeri 5. adımda ilgili alternatif için hesaplanan S_i^- değerinin S_i^* ve S_i^- değerleri toplamına bölünmesi ile hesaplanır.

$$D_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^*)} \quad (17)$$

Her bir alternatif için elde edilen D_i^* değerleri AHP yöntemi ile ağırlıkları tespit edilen kriterlerin TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin tercih önceliği değerlerini vermektedir. Elde edilecek bu D_i^* değerlerine göre çatışmada hangi geminin hangi kural bakımından ne derece kusurlu olduğu ortaya konmuş olacaktır.

Çok ölçütlü karar verme yöntemi ile karar destek sistemi oluşturulurken bilirkişilerin kazanın oluşmasına sebep olan faktörleri değerlendirip nihai kusur oranını belirlerken, bu süreci kolaylaştırmak amacıyla, bilirkişi kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. Bilirkişilerin yaşanan çatışma kazası için her bir faktörün kazayı ne kadar etkilediğini oluşturulan formlar aracılığıyla sisteme girmesini sağlayarak AHP yöntemi ile faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi aşaması yapılandırılmıştır. Ardından kazayı yaşayan gemiler için faktör ağırlıkları göz önüne alınarak TOPSIS yöntemi ile her bir geminin kusur oranının belirlenmesi için karar destek sistemi yapılandırılmıştır. Bu amaçla toplam 16 genel faktör belirlenmiştir. Denizde çatışmayı önleme kurallarında tüm kurallar aynı anda çalışmamaktadır. Örneğin hem yetişme hem de pruva pruvaya geliş kuralı aynı anda çalışmayacaktır. Bu nedenle 16 faktör ve akıntı, rüzgar, diğer seyir koşulları ile birlikte 9 grupta toplanarak karar verme süreci daha basit hale getirilmiştir. Şekil 3, 16 genel faktörü ve 9'a indirgenen grupları göstermektedir.

Genel Faktörler	Gruplar
Sorumluluk	1
Gözcülük	2
Enniyetli Hız	3
Çatışma Riskinin Tespiti	2
Çatışmayı Önleme Hareketi	4
Dar Kanallar	5
Trafik Ayrım Düzeni	5
Yelkenli Tekneler	6
Yetişme	6
Pruva Pruvaya	6
Aykırı Geçiş	6
Yol Verme Durumu	7
Yol Verilme Durumu	7
Tekneler Arası Sorumluluklar	6
Fenerler ve Şekiller	8
Ses ve Işık İşaretleri	8
Akıntı, Rüzgar ve Seyir Koşulları	9

Şekil 3. 16 genel faktör ve 9'a indirgenen gruplar.

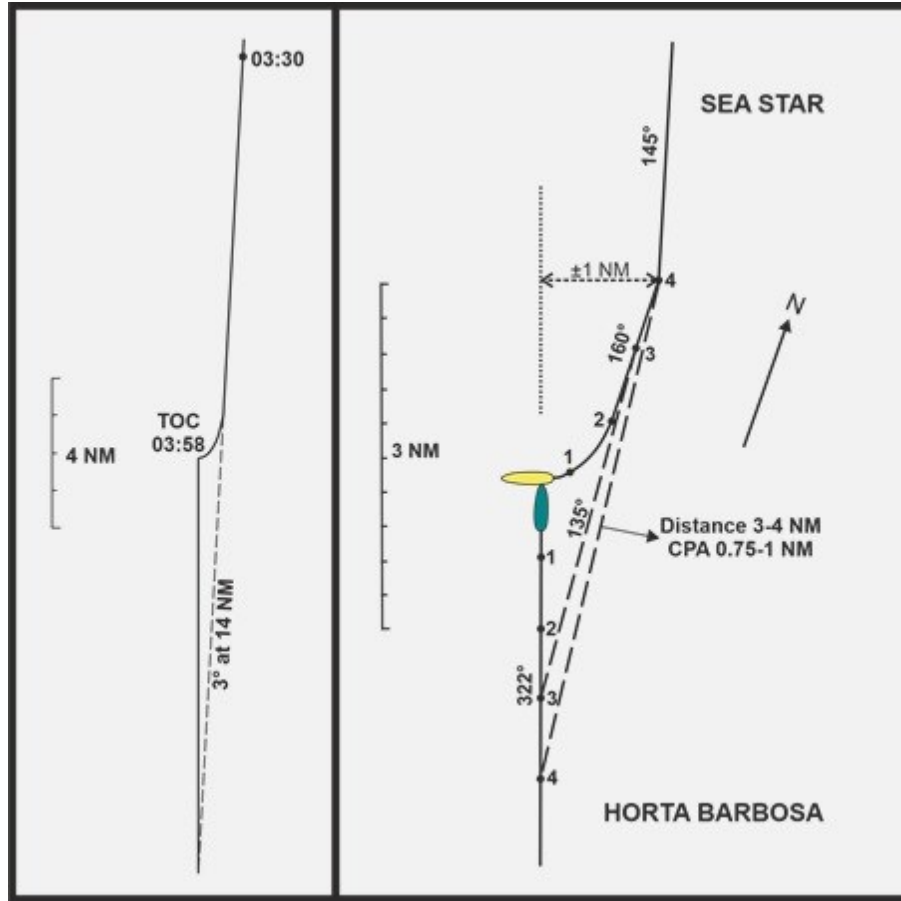
3. Örnek vaka incelemesi

Gemilerin sancak sancağa geçecek şekilde bir teknenin diğerini sancak başomuzlukta görmesi ve karşılıklı rotada olmaları hali çatışma riskinin en fazla olduğu durumlardandır. Böyle bir karşılaşmada teknelerden birisi çatışmayı önleme kuralları gereği sancağa alırsa, diğeri ise kuralı uygulanabilir şekilde değerlendirmese çatışma olma ihtimali çok yüksektir.

62.619 GRT'lik Horta Barbosa tankeri ile 63.988 GRT'lik Sea Star tankeri Oman Körfezi'nde 1972 tarihinde gece koşullarında bu şekilde karşılaştılar. Hava ve akıntı şartları oldukça uygun ve normal görüş koşullarında seyir yapmaktaydılar. Gece vardiyası sonuna yaklaşıldığında karşılaştıklarında da durum böyleydi. Sea Star gemisinde 2. Zabit vardiyada bir stajyer ve iki gemici ile 142° rotası üzerinde suya nazaran 16 knot'a yakın bir hız ile seyretmekteydi. Saat 03.30'da 2. Zabit bir radar kerterizi ile mevki atarken yaklaşık olarak 14 mil uzaklıkta biraz sancak baş omuzlukta radarda hedef geminin ekosunu tespit etti. Gözle de bunu teyit etmek için dürbünle bakınca hedef gemi Horta Barbosa'yı silyon

fenleri bir hat üzerinde veya buna yakın bir durumda görüp rotayı 145° 'ye değiştirmişti. 3° lik bu rota değişimi Horta Barbosa gemisini yaklaşık olarak pruvada olması sonucunu doğurdu.

Horta Barbosa gemisi 16 knot'luk deniz hızı ile 322° rotasında 2. Zabit vardiyasında seyir halindeydiler. Gemi otomatik dümenle olup bir stajyer ve gözcü olarak bir gemici köprü üstünde bulunmaktaydı. Horta Barbosa diğer gemiyi yaklaşık olarak 03.30'da 16 mil uzaklıkta ve 10° kadar sancak baş omuzlukta gördüğünü iddia etmişti. Uzaklık 8 mile düştüğünde, diğer geminin silyon fenerlerinin sancağa doğru açmağa başladığını görmüştü fakat kerterizi yaklaşık aynıydı. Plotlama yapılmadan en yakın yaklaşma noktasının (CPA) 0,75-1 mil arasında olacağını tahmin edilmişti. Saat 03.45'te zabit, Sea Star'ın yeşil borda fenerini 3 ile 4 mil kadar uzaklıkta görmüş ve aslında bunun üçte biri kadar olması gerekirken, pruvadan yaklaşık 30° olması gereken bir kerterizde olduğunu tahmin ederek diğer geminin kendi sancak tarafından yaklaşık olarak 1 mil açıktan geçeceğini düşünerek harita kamarasına girmişti. Saat 04.00 civarında vardiya değişimi nedeniyle gözcü köprü üstüne geri döndüğünde Sea Star'ı silyon fenerlerini sancağa açık olarak gösterir şekilde bulduğunu iddia etmişti. Stajyer kahve içmek için köprü üstünden ayrılmış ve köprü üstüne geri döndüğünde Sea Star'ın kırmızı borda feneri ve pruva silyonunu görmüştü. Bu da Sea Star gemisinin sancaktan iskeleye aykırı olarak geçmeye çalıştığını gösteriyordu. 2. Zabit harita üzerinde çalışıyordu karşıdaki geminin pruvasından geçmeye çalıştığını fark edince hemen makinayı tam yol tornistana geçip dümenin ele alınmasını istedi. Fakat buna rağmen, kısa süre sonra Horta Barbosa gemisi Sea Star'ın köprü üstünün ön kısmından dik şekilde çarptı. Sea Star çarpmanın ardından patlamalar yaşadı ve ardından yangınla birlikte 11 kişi hayatını kaybetti. Şekil 4'te Horta Barbosa ve Sea Star gemileri arasında yaşanan çatışma kazasının gelişim süreci gösterilmiştir.



Şekil 4. Çatışma kazasının gelişim süreci.

Sea Star gemisinde olaylara şahit olan stajyer harici herkesin canını kaybetmesi nedeniyle stajyerin tanıklığına ve jurnal kayıtlarına bakılmıştı. Saat yaklaşık 03.50'de 1. zabit vardiya değişimi için 2. zabitin yanına gelmişti. Sea Star 145° rotasında ilerlerken stajyer Horta Barbosa'nın radarla uzaklığına bakmış ve yaklaşık 1,3 ile 1,4 mil arasında, kerterizinin 25 derece iskele başomuzlukta olduğunu bulmuştu. Fakat değerlendirmeler yapıldığında Horta Barbosa'nın kerterizinin 3° - 4° arasında olması

muhtemeldi. 2. Zabit önce bir miktar sancağa almış ardından, sancak alabanda komutu vermiştir. Çatışmadan hemen öncede iskele alabanda komutu verilmişti. 2. Zabit Horta Barbosa'yı ilk gördüğünde sancağa 3° derece rota değiştirmesi onun iskele iskeleye geçmeyi beklediğini gösteriyordu. 1. Zabit'in köprüüstüne gelmesi ve bu geçişin riskli olduğunu değerlendirmesinin ardından 2. Zabit iskele iskeleye geçiş için ısrar etmiş 15° sancağa almıştı. Yapılan bu rota değişikliğinin etkili olmaması 2. Zabitin sancak alabanda vermesiyle devam etti ve kısa süre sonra çatışma yaşandı.

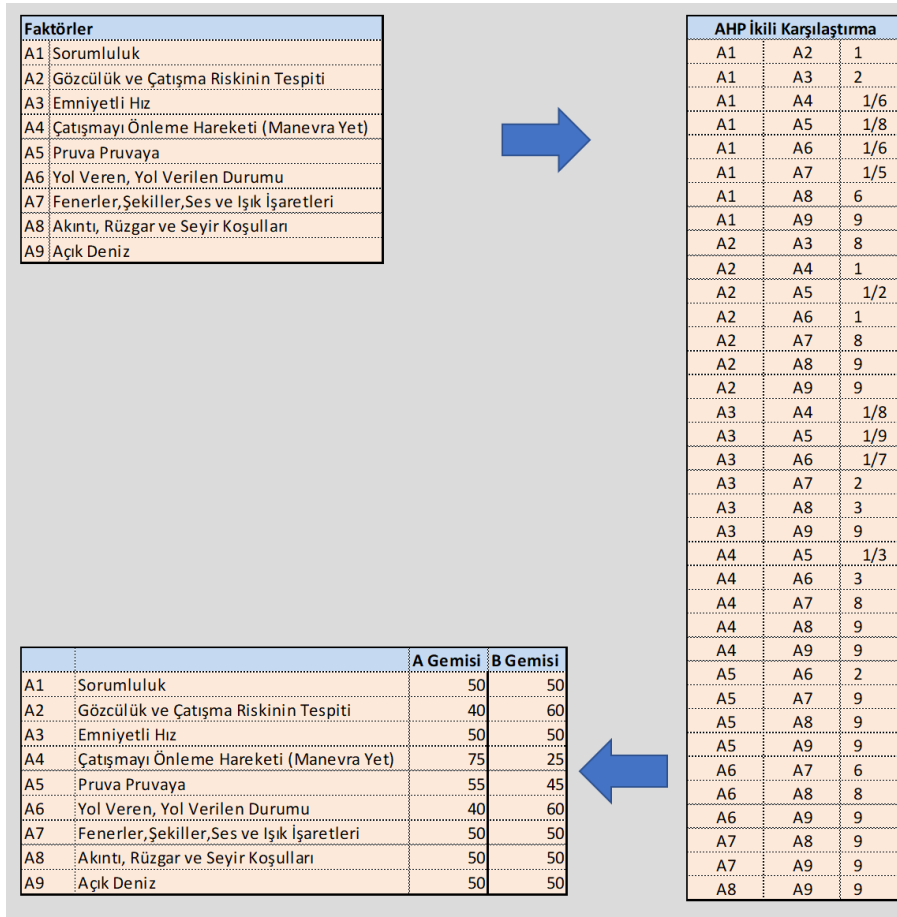
Sea Star ağır şekilde kural ihlalleri ile yargılanmış ve %75 kusurlu bulunmuştu. Sea Star'ın 2. Zabiti'nin çok geç aşamada Horta Barbosa'nın pruvasından aykırı şekilde geçmeye çalışması çok önemli bir kusurdu. Kurallardaki çatışmayı önleme hareketinin olumlu, zamanında ve iyi denizcilik kurallarına uygun şekilde yapılması gereği yerine getirilmemişti. Mahkeme Horta Barbosa gemisinin 2. Zabiti'ni değerlendirdiğinde harita kamarasında geçirdiği 6-7 dakika konusunda görevini ihmalle suçlamıştı. 2. Zabitin tespitleri kadarıyla emniyetli bir rota üzerinde olduğu gözlenen Sea Star gemisinin rotasını koruyacağını varsayıp, bu gemini neta olana kadar gözlemlememek büyük bir hata idi. Her iki geminin de en yakın yaklaşma mesafesini tespit edilmesi ve karşıdaki geminin kerterizlerini sağlıklı şekilde alınması konusunda ihmalkâr davranmışlardı. Sea Star'ın 1. zabitinin vardiyayı teslim almadan harita üzerinde çalışması, Horta Barbosa'nın 2. Zabitinin harita kamarasına geçtiğinde hem gözcüyü hem stajyerin köprüüstünden ayrılmasına izin vermesi gözcülük açısından çok önemli kusurlardı. Bu çatışma kazasında olduğu gibi gemilerden birisi sancak sancağa geçiş yapacağını düşünürken diğer gemi karşılıklı rotada olduğunu düşünüp kuralı uygulayıp iskele iskeleye geçişi düşündüğünde, çok tehlikeli bir karşılaşma ortaya çıkabilir.

Denizde çatışmayı önleme kuralları, çatışma riski söz konusu olacak şekilde pruva pruvaya yakın karşılaşan tekneler için, Kural 14 gereği sancağa rota değişikliği ile çatışmayı önleme hareketinin yapılmasını istemektedir. Böyle bir karşılıklı rota durumunda bulunan gemilerin kaptan ve zabitleri en yakın yaklaşma mesafesini artırmak için iskeleye rota değişikliği yapmak isteyebilirler. Çatışma riski bulunmadığı durumlarda kurallar çalışmaya başlamayacağı için denizcilerin yaptığı bu hareket haklı görülebilir. Literatürde açık denizde çatışma riskinin 5-8 mil aralığında başladığı öngörülmekte olup çatışma riskinin ne zaman başladığı her bir karşılaşma için özel değerlendirilmelidir. Gemi trafiğinin yoğun olduğu seyir alanlarında denizcilik uygulamaları açısından hem iskele hem de sancağa rota değiştirme seçeneklerinin avantajını kullanmalıdır (Cahill, 1983). Böyle durumlarda 1 millik en yakın yaklaşma mesafesi genellikle yeterli sayıldığı gibi trafiği çok yoğun olan bölgelerde durum kendine özel değerlendirilip yarım millik mesafeye kadar tekneler haklı görülebilir.

3.1. Model uygulaması

Şekil 4'de ikili ağırlıklandırma değerleri ve çatışma yaşamış gemilerin seçilmiş kriterlerdeki kusur oranları girilmiştir. Şekil 4'te hesaplama arayüzü gösterilmektedir. Şekil 5'de ise AHP yöntemi Şekil 6'da ise TOPSIS ile nihai kusur oranının hesaplamaları gösterilmektedir.

Sea Star ve Auriga gemileri arasında yaşanan kazadan sonra mahkemede alınan kararlar emsal niteliği taşımaktadır. Emsal olan kararlar denizde çatışmayı önleme kurallarının gelişiminde önemli rol oynamakta daha sonraki mahkeme kararlarını da etkilemektedir. Özellikle pruva pruvaya geçiş durumunda gemilerden birinin sancağa alarak iskele iskeleye geçişi tercih etmesi, diğerinin çatışma riskini yok varsayıp sancak sancağa geçişi tercih etmesi ile oluşan çelişki durumu, bu mahkeme kararıyla açıklığa kavuşturulmuştur. Model uygulaması için bu kazanın seçilme sebebi hem emsal bir karar olması hem de çelişkili karşılaşmalara örnek olmasıdır. Modelin uygulanma aşamasında, bilirkişi ara yüzü ile çatışma kazasındaki çatışmayı önleme kurallarının uygulanmasındaki faktör ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenmiş, ardından aynı faktörler ile gemilerin kusur oranları TOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir.



Şekil 4. Hesaplama arayüzü.

[A]	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
A1	1,000	1,000	2,000	0,167	0,125	0,167	0,200	6,000	9,000
A2	1,000	1,000	8,000	1,000	0,500	1,000	8,000	9,000	9,000
A3	0,500	0,125	1,000	0,125	0,111	0,143	2,000	3,000	9,000
A4	6,000	1,000	8,000	1,000	0,333	3,000	8,000	9,000	9,000
A5	8,000	2,000	9,000	3,000	1,000	2,000	9,000	9,000	9,000
A6	6,000	1,000	7,000	0,333	0,500	1,000	6,000	8,000	9,000
A7	5,000	0,125	0,500	0,125	0,111	0,167	1,000	9,000	9,000
A8	0,167	0,111	0,333	0,111	0,111	0,125	0,111	1,000	9,000
A9	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	1,000
Σ	27,777778	6,47222	35,9444	5,97222	2,90278	7,7123	34,4222	54,1111	73

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	Σ	[B]
A1	0,036	0,15451	0,05564	0,02791	0,04306	0,02161	0,00581	0,11088	0,12329	0,57871	0,06
A2	0,036	0,15451	0,22257	0,16744	0,17225	0,12966	0,23241	0,16632	0,12329	1,40445	0,16
A3	0,018	0,01931	0,02782	0,02093	0,03828	0,01852	0,0581	0,05544	0,12329	0,3797	0,04
A4	0,216	0,15451	0,22257	0,16744	0,11483	0,38899	0,23241	0,16632	0,12329	1,78636	0,20
A5	0,288	0,30901	0,25039	0,50233	0,3445	0,25933	0,26146	0,16632	0,12329	2,50462	0,28
A6	0,216	0,15451	0,19474	0,05581	0,17225	0,12966	0,17431	0,14784	0,12329	1,36841	0,15
A7	0,18	0,01931	0,01391	0,02093	0,03828	0,02161	0,02905	0,16632	0,12329	0,61271	0,07
A8	0,006	0,01717	0,00927	0,0186	0,03828	0,01621	0,00323	0,01848	0,12329	0,25053	0,03
A9	0,004	0,01717	0,00309	0,0186	0,03828	0,01441	0,00323	0,00205	0,0137	0,11453	0,01

[B]	[C]	[D]
0,06	0,69	10,779
0,16	1,96	12,5423
0,04219	0,50549	11,9817
0,19848	2,53643	12,779
0,27829	3,3618	12,0801
0,15205	1,94022	12,7607
0,06808	0,87631	12,8721
0,02784	0,26403	9,48499
0,01273	0,12242	9,62041

$\lambda_{max} = 11,6556$
 $CI = 0,33195$
 $RI = 1,45$
 $CR = 0,22893$

Şekil 5. AHP hesaplamaları.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
A	50	40	50	75	55	40	50	50	50
B	50	60	50	25	45	60	50	50	50
WEIGHTS	0,06	0,16	0,04	0,20	0,28	0,15	0,07	0,03	0,00
STEP1: CALCULATE NORMALIZED RATINGS (RIJ=XIJ/KARAKÖK İÇİNDE TOPLAM(XIJ^2))									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
A	0,7071	0,5547	0,7071	0,9487	0,7740	0,5547	0,7071	0,7071	0,7071
B	0,7071	0,8321	0,7071	0,3162	0,6332	0,8321	0,7071	0,7071	0,7071
STEP2: CALCULATE WEIGHTED NORMALIZED RATINGS (VIJ=WJ*RIJ)									
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
A	0,0455	0,0866	0,0298	0,1883	0,2154	0,0843	0,0481	0,0197	0,0000
B	0,0455	0,1298	0,0298	0,0628	0,1762	0,1265	0,0481	0,0197	0,0000
STEP3: IDENTIFY POSITIVE-IDEAL AND NEGATIVE-IDEAL SOLUTIONS									
MAXIMUM	0,0455	0,1298	0,0298	0,1883	0,2154	0,1265	0,0481	0,0197	0,0000
MINIMUM	0,0455	0,0866	0,0298	0,0628	0,1762	0,0843	0,0481	0,0197	0,0000
STEP4: CALCULATE SEPERATION MEASURES									
	MAX		MIN		STEP5				
A	0,0604		0,1315		0,6852				
B	0,1315		0,0604		0,3148				
A GEMİSİ KUSUR ORANI	69%								
B GEMİSİ KUSUR ORANI	31%								

Şekil 6. TOPSIS hesaplamaları ve nihai kusur oranı sonuçları.

Bilirkişi değerlendirmeleri ve model uygulamasının sonucunda;

Sea Star gemisinin çatışma olayındaki kusur oranının %69, Auriga gemisinin çatışma olayında kusur oranının ise %31 olduğu görüşüne varılmıştır.

Mahkemenin kararlarına benzer sonuçlar tespit edilmiş ve modelin tutarlı çalıştığı görülmüştür.

4. Sonuç

Çatışma, gemi kazalarında sıklıkla görülen ve en önemli vakalardan birisidir. Gemi çatışmalarının analizi konusunda özellikle insan faktörü, çevre şartları ve teknik ve ticari kusurlar göz önünde bulundurulmaktadır. Bu sayede gemi çatışmalarını en aza indirmek için gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler belirlenmektedir. Bu noktada, gemi çatışma araştırmalarının, hukuki mevzuatlar ve uluslararası kural gereksinimleri göz önünde bulundurularak yürütülmesi daha etkin önlemler geliştirilmesini sağlayacaktır.

Son yıllarda, uluslararası denizcilik otoritelerinin çabaları, sürekli güncellenen uluslararası kurallar, ilerleyen deniz teknolojisi imkanlarına rağmen, gemi kaza oranları istenilen seviyelere indirilememiştir. Bu nedenle denizcilik endüstrisinde operasyonel seviyede meydana gelen tehlikeli oluşumlar ve kazalar konusunda yürütülen çalışmalar ve çözüm arayışları hızla devam etmektedir. Gemi çatışmalarında en önemli unsurlardan birisi çatma sorumluluklarının belirlenmesidir. Bu süreç konu ile ilgili operasyonel hakimiyetin yanı sıra, hukuki mevzuatlarında yorumlanmasını gerektirmektedir.

Özellikle, gemi çatışmalarından sonra izlenen hukuki süreçte çatma sorumluluklarının belirlenmesi aşaması, hakimlerin belirlediği bilirkişiler tarafından yürütülmektedir. Hava ve çevre şartları, insan faktörü, seyir alanı, gemi karakteristikleri gibi birçok etkeninin göz önünde bulundurulması gereken bu süreçte kompleks bir karar problemi ile karşılaşmaktadır. Bu konuda verilen kararların tutarlılığı göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu eksiklik, bilirkişilerin subjektif kararlar verme ihtimalini artırmaktadır. Çatmada kusur oranlarının belirlenmesi kararı, tek faktörün değil, çok sayıda iç ve dış faktörün etkisi ile oluşmakta, dolayısıyla karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle bu süreç, sadece tek değişkene veya tek kritere göre değil, çok sayıda değişkene ve bunların ortak etkilerine göre tanımlanmalıdır.

Bu noktada bilirkişilere karar desteği sağlamak amacıyla, çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak model algoritması oluşturulmuştur. İlk aşamada çatışma kazası için uygulamada olan kuralların ağırlıklandırılması AHP yöntemi ile yapılmış, ardından aynı kriterler üzerinden gemilerin kusur oranları TOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan vaka analizi ile de emsal kararlar üzerinden model uygulaması yapılmış ve emsal mahkeme kararlarıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir.

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

Amiri, M. P. (2010). Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6218-6224.

Awan, U., Hannola, L., Tandon, A., Goyal, R. K., ve Dhir, A. (2022). Quantum computing challenges in the software industry. A fuzzy AHP-based approach. *Information and Software Technology*, 147, 106896.

Bambulyak, A., ve Ehlers, S. (2020). Oil spill damage: a collision scenario and financial liability estimations for the Northern Sea Route area. *Ship technology research*, 67(3), 148-164.

Butowski, L. (2018). An integrated AHP and PROMETHEE approach to the evaluation of the attractiveness of European maritime areas for sailing tourism. *Moravian Geographical Reports*, 26(2), 135-148.

Cahill, R. A. (1983). *Collisions and their causes*: Fairplay Publications.

Celik, M., Deha Er, I., ve Ozok, A. F. (2009). Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 190-198. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.004>

Dağdeviren, M., Yavuz, S., ve Kılınç, N. (2009). Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8143-8151.

EMSA. (2021). *An overview of marine casualties and incidents 2021*. Retrieved from <https://www.emsa.europa.eu>

Gao, Q., Peng, S., Lu, X., ve Yin, Y. (2022). *Evaluation of the economic vitality of the nine cities and prefectures in Guizhou Province based on the entropy weight-TOPSIS method*. Paper presented at the 2022 IEEE 6th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC).

Gupta, S., Khanna, R., Kohli, P., Agnihotri, S., Soni, U., ve Asjad, M. (2022). Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure using Fuzzy AHP—a case study in India. *Operations Management Research*, 1-14.

Hald, H. J. (2007). *Apportionment of Collision Liability: A Survey of Nordic Maritime Collision Case Law*. (Doctoral dissertation)

Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications—A literature review. *European Journal of operational research*, 186(1), 211-228.

Hwang, C.-L., ve Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191): Springer.

- Iqbal, M., Ma, J., Ahmad, N., Ullah, Z., ve Ahmed, R. I.** (2021). Uptake and adoption of sustainable energy technologies: Prioritizing strategies to overcome barriers in the construction industry by using an integrated AHP-TOPSIS approach. *Advanced Sustainable Systems*, 5(7), 2100026.
- Kara, E. G. E.** (2022). Determination of maritime safety performance of flag states based on the Port State Control inspections using TOPSIS. *Marine Policy*, 143, 105156.
- Kaya, A. Y., Asyali, E., ve Ozdagoglu, A.** (2018). Career decision making in the maritime industry: research of merchant marine officers using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*.
- Khambhati, R., Patel, H., ve Kumar, S.** (2021). A performance evaluation and comparison model for urban public healthcare service Quality (Urbpubhcservqual) By fuzzy TOPSIS Method. *Journal of Nonprofit & Public Sector Marketing*, 1-20.
- Nazim, M., Mohammad, C. W., ve Sadiq, M.** (2022). A comparison between fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods to software requirements selection. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10851-10870.
- Ömürbek, N., Makas, Y., ve Ömürbek, V.** (2015). AHP ve TOPSIS yöntemleri ile kurumsal proje yönetim yazılımı seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(21), 59-83.
- Pathan, A. I., Girish Agnihotri, P., Said, S., ve Patel, D.** (2022). AHP and TOPSIS based flood risk assessment-a case study of the Navsari City, Gujarat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 1-37.
- Pereira, V., ve Bamel, U.** (2022). Charting the managerial and theoretical evolutionary path of AHP using thematic and systematic review: a decadal (2012–2021) study. *Annals of Operations Research*, 1-17.
- Qi, J.** (2022). Ship collision in Chinese Maritime Law: Legislation and Judicial Practice. *Journal of Navigation and Port Research*, 46(2), 99-109.
- Qveim-Leikanger, S.** (2018). *From Manual to Autonomous: One-Hundred Years of Maritime Ship-to-Ship Collision Liability. On the Material Rules and Evaluation of Fault in Collisions between Vessels: Scandinavian Maritime Collision Liability from 1918 to 2018.* (Doctoral dissertation)
- Roszkowska, E.** (2011). Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. *Multiple Criteria Decision Making/University of Economics in Katowice*, 6(1), 200-230.
- Saaty, T. L.** (1980). *The Analytic Hierarchy Process* McGraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- Saaty, T. L.** (1986). Absolute and relative measurement with the AHP. The most livable cities in the United States. *Socio-Economic Planning Sciences*, 20(6), 327-331.
- Saaty, T. L.** (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Sahin, B., Senol, Y. E., Bulut, E., ve Duru, O.** (2015). Optimizing technology selection in maritime logistics. *Research in Logistics & Production*, 5.
- Senol, Y. E., ve Sahin, B.** (2016). A novel real-time continuous fuzzy fault tree analysis (RC-FFTA) model for dynamic environment. *Ocean Engineering*, 127, 70-81.
- Şenol, Y., Gökçek, V., ve Seyhan, A.** (2017). *SWOT-AHP analysis of autonomous shipping*. Paper presented at the 4th International Multidisciplinary Congress of Eurasia Proceedings.
- Şenol, Y. E., Şahin, B., ve Kum, S.** (2013). Marine accident analysis by using pairwise comparison. *Journal of ETA Maritime Science*, 1(2), 59-64.
- TTK.** (2011). Kanun No: 6102. *Resmi Gazete*(27846).

Uçdu, G., ve Kılıç, A. (2022). Investigation of Turkish Ports Within the Scope of Port Location Selection and Green Port. *Deniz Taşımacılığı ve Lojistiği Dergisi*, 3(1), 35-49.

Research Article

Examination of maritime education within frame of gamification

Gizem Kayisoglu^{1,*}, Pelin Bolat², Fırat Bolat³, Aras Payalan⁴

¹ Department of Maritime Transportation Management Engineering, Maritime Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye,

² Department of Basic Sciences, Maritime Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye,

³ Department of Marine Engineering, Maritime Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul,

⁴ Department of Maritime Transportation Management Engineering, Maritime Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye,

*Correspondence: yukselg@itu.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1143499

Abstract: Gamification is a new design for many fields in changes in the expectations and satisfaction levels of each individual with digital literacy skills, as well as in their behavior and habits. Utilizing the benefits of its frame is also a critical issue for the maritime education. In this context, it is aimed to measure the predisposition and interest of the maritime university students in the game contents by conducting a survey. Statistical results are obtained regarding the attitudes of the participants towards learning with computer games, their attitudes and expectations towards gamification and how useful gamification could be for non-game systems. Lastly, it is revealed which courses in maritime can be gamified. Accordingly, it is seen that the majority of the students are intertwined with games every day. The reason why the majority of the people prefer to play 'multiplayer' games is the desire to be successful brought by the competitive environment or the communication-based system being more interesting and increasing motivation even more. Attendances consider that gamification will make the lessons more interesting, specifically electronic navigation and maritime security courses.

Key Words: Gamification, maritime, maritime education, attitudes toward game, game

Denizcilik eğitiminin oyunlaştırma çerçevesinde incelenmesi

Özet: Oyunlaştırma, dijital okuryazarlık becerisine sahip her bireyin beklenti ve memnuniyet düzeylerinin yanı sıra davranış ve alışkanlıklarındaki değişiklikler açısından birçok alan için yeni bir tasarımdır. Oyunlaştırma çerçevesinin faydalarından yararlanmak, denizcilik eğitimi için de kritik bir konudur. Bu kapsamda denizcilik üniversitesi öğrencilerinin oyun içeriklerine yönelik yatkınlık ve ilgilerinin anket yapılarak ölçülmesi amaçlanmaktadır. Katılımcıların bilgisayar oyunları ile öğrenmeye yönelik tutumları, oyunlaştırmaya yönelik tutum ve beklentileri ve oyunlaştırmının oyun dışı sistemler için ne kadar yararlı olabileceğine ilişkin istatistiksel sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak denizcilikte hangi derslerin oyunlaştırılabileceği ortaya konulmuştur. Buna göre öğrencilerin büyük çoğunluğunun her gün oyunlarla iç içe olduğu görülmektedir. Öğrencilerin çoğunluğunun 'multiplayer' oyunları oynamayı tercih etmelerinin nedeni, rekabet ortamının getirdiği başarılı olma isteği veya iletişim temelli sistemin daha ilgi çekici olması ve motivasyonu daha da artırmasıdır. Katılımcılar, oyunlaştırmının dersleri, özellikle elektronik navigasyon ve deniz güvenliği derslerini daha ilginç hale getireceğini düşünmektedir.

Anahtar Kelimeler: Oyunlaştırma, denizcilik, denizcilik eğitimi, oyuna yönelik tutum, oyun

* Corresponding author.

E-mail address: yukselg@itu.edu.tr

ORCID: 0000-0003-2730-9780; 0000-0003-4262-3612; 0000-0001-9807-7089; 0000-0002-6547-224X (in hierarchical order)

Received 13.07.2022; accepted 22.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

In the technology world of the 21st century, it is seen that there are undeniable changes in the expectations and satisfaction levels of each individual with digital literacy skills, as well as in their behavior and habits. These changes make it a necessity to reorganize the existing education methods in accordance with the innovative structure of the age, in today's world where information is accessible at any time regardless of space and time. In this context, it is great importance to feed the educational content not only with printed books, but also with digital games, motion pictures, virtual and augmented reality applications, and to invest in the creation of such content. When focusing on the topic of participation in education, although technology and the Internet increase the opportunity for people to develop intercultural skills and learn new ways of thinking, they can make participation in education difficult. The greater participation of the learner in education is usually achieved through pedagogical tools in active education (Wood and Reefke, 2010). Another tool used for this purpose in recent years is the gamification approach (Juárez and Carballo, 2016).

The concept of gamification, which started to be used as a term in the 2000s, is a preferred approach for realizing a person's attitude and behavior change. In general terms, gamification is the use of game components in the design of non-game contents or environments in order to increase the experience and interest of users (Deterding et al. 2011a; Deterding et al. 2011b; Deterding et al. 2011c; Werbach, 2014; Domínguez, 2013). The game is a design that has an enjoyment-oriented and rule-based, definable result and that the players who participate in the game environment strive to change this result (Juul, 2003). It is expressed by Prensky (2007) as a concept that includes elements such as goals, results, rules, feedback, interaction, and competition. Similar to this idea, Järvinen (2008) expressed the game as a structure that has a certain context, rule, environment, in which the player participates. There are game elements or components that the game designer needs to design this system. Game elements vary according to game content, subject, purpose and designer (Arkun-Kocadere and Samur, 2016; Bunchball, 2013). The biggest impact of game elements is on motivation, so it needs to be oriented towards basic human desires (Bunchball, 2013). Huang and Soman (Hsin-Yuan Huang and Soman, 2013) examined the game elements in two titles as individual and social elements. The individual game elements include items such as score, level, medal, virtual resource, story, time, and aesthetic. The social game elements involve items such as leaderboard, virtual resource, interactive collaboration, and story. According to this classification, the individual elements are used to complete the determined levels, and the social elements are used to ensure that the player continues the game with the interaction with the game and other players (Ar, 2016). In accordance with the definition of game, game elements and gamification, the game and game elements are critical issues for gamification. Because, gamification not only takes the origin of the name and entertainment elements from the concept of game, but also includes a systematic method such as being bound to a set of rules, reward/punishment system, fiction and implementation. For this reason, not only the use of game elements but also game design is important in gamification studies. On the other hand, there are sharp contrast between game and gamification. While the main purpose of the game is entertainment, the purpose of gamification is to direct human behaviors and tendencies by combining them with entertainment. Gamification uses game only as a tool in a game-free environment. The detail difference between game and gamification is as Table 1.

Today, gamification is already used in many fields such as health, public relations, sports, advertising, economy, innovation, work efficiency, employee performance, psychology, media and journalism, resource and time management, digital information systems, tourism, entertainment, and especially education (Burke, 2014; Ferrer and Karlsson, 2015; Kapp, 2012; Mora et al., 2017; Pamfilie et al., 2016; Vardarliher and Inan, 2017). Instead of using digital games for education, some researchers have focused on transferring the beneficial aspects of these digital games to non-game learning areas (Domínguez, 2013). As a result, a term called gamification has emerged, which we can apply as an educational method.

In recent years, with the application of the concept of gamification in different sectors, it has also been applied in maritime education. However, gamification concept has been evaluated more for the transport - logistic sector than maritime in the literature (Bastug and Aydın, 2020). For instance, The Beer Game (Sterman, 1960), Fresh Connection (Cotter et al., 2009), Responsive.net, - The Supply Chain Game (Freng and Ma, 2008), Supply Chain Risk Management Game (Kuijpers, 2009) are some gamification

application on logistic and supply chain sector. Port Simulator 2012-Hamburg (2012) is one of the limited gamification on the maritime education.

In this context, it is aimed to measure the predisposition and interest of the maritime university students in the game contents by conducting a survey. It is aimed to obtain statistical results regarding the attitudes of the participants towards learning with computer games, their attitudes and expectations towards gamification, and how useful gamification could be for non-game systems. Lastly, it is revealed which courses in maritime can be gamified.

Table 1. Difference between game and gamification

Game	Gamification
It has defined rules and goals	It can consist of only a collection of quests along with a type of reward.
It includes the possibility of losing	There may or may not be a chance to lose, as the goal is to motivate people to do something.
Sometimes playing games causes an internal reward	Internal reinforcement is optional
Producing games is often difficult and expensive	Gamification is relatively cheap and easy
Content is mostly aligned to game scenes and story	Not much change in content

2. Literature review

The concept of gamification is first introduced by the expert of British information technology - Nick Pelling in 2002 (Marczewski, 2012). Although the first documented use of gamification as a term dates back to Bret Terrill's 2008 blog post (Oliver, 2017), it is not until 2010 that the concept is widely accepted and used in academic studies (Richter et al., 2015). Although the concept of gamification comes before us as a new term in the literature, the basis of this concept is actually based on information communication technologies and the "digital media industry". Different studies and researches examining this concept are gaining more and more visibility in daily life as well as in the literature. It is an incomplete and incorrect idea to think of gamification as a concept only related to digital technologies. Technology is not the birthplace of the concept of gamification, it is only one of the areas where gamification is applied. The concept of gamification refers to applications that affect people without having to be connected to the computer (Danelli, 2015). At this point, it can be stated that technological developments and innovations facilitate gamification applications.

According to studies in the literature, the specifications of gamification are as Table 2.

Table 2. The specifications of gamification

The specifications of gamification	
From an educational point of view, the gamification process is not only to include the game in the teaching of skills or knowledge, but also to benefit from the potential of facilitating the learning of the students in the current learning area by combining it with the game characteristics.	(Karatas, 2014)
Gamification is the use of game design components and game mechanics in non-game environments.	(Mora et al., 2017)
Game components are used not only in education but also in many non-game computer, smartphone and tablet applications. Such activities can be expressed as gamification.	(Kim and Lee, 2015)
Gamification is trying to positively affect learning, problem solving and motivation by using game components and strategy.	(Brigham, 2015)
In the gamification process, users are provided with an effective experience process and the user is encouraged to participate more in the application.	(Guler, 2015)
The concept of gamification is an educational platform that aims to internalize people's external motivations and offers those rewards and feedback. Leveling up, giving rewards, specializing, etc., which causes players to become almost addicted to the games. It is the application of tools with the aim of improvement in education.	(Gokkaya, 2014)
Gamification is applications that enable the user to be involved in the process to increase their motivation.	(Guler and Guler, 2015)
Gamification is the successful use of psychology and game components to change attitudes.	(Procopie et al., 2015)
Gamification; Since the new generation spends more time playing computer games than school-related things, it is seen as a solution to the computing (enhancing student engagement) problems faced by most teachers around the world in any learning situation.	(Polat, 2014)
Gamification is listening to think about what games can teach us and what we can learn from game design, psychology, marketing, management, economics and their systems, through motivational and entertainment-based methods.	(Gurcay, 2015)
The use of basic elements and concepts used in game design and development processes in environments other than game production is called gamification.	(Yılmaz and O'Connor, 2013)
Gamification is trying to increase student participation by turning the traditional classroom environment into a competitive multiplayer game.	(De Freitas and De Feritas, 2013)
Gamification is expressed as the process of increasing motivation to achieve gaming experience and more behavioral outcomes.	(Hamari et al., 2014)
Gamification; It is the application of game elements in non-game fiction and continues to develop as a method used to increase student information in the classroom environment.	(Hanus and Fox, 2015)

Although there are many definitions about gamification, some common main ideas draw attention. These are increasing the motivation and commitment levels of users, non-game contexts (Tunga and Inceoglu, 2016), creating and maintaining the desire to be involved in the process, making the process fun, sharing information, acquiring new skills and experiences, and providing competitive cooperation among employees (Uskav and Sakar, 2015). The motivation is the most important key of gamification and there are some theoretical principles for the basis of gamification such as flow theory, self-determination theory, fogg behavior model, and goal setting theory. These theories explain that why a system or target should be gamification and which rules can be used for this.

The game industry describes a large area. This sector has become one of the most important parts of the entertainment industry. According to Newzoo's 'Global Game Market' report (2021), it is estimated that the game market will reach a value of approximately 175.8 billion dollars by the end of 2021. Another factor for developing game and gamification sector expressed by Reeves and Read (2009) is large groups of people, that is, target audiences. The games appeal to and are played by a very large audience. According to the Reeves and Read, 27% of the players are over the age of 40. This value is expressed as 9% in 1999. According to the ESA 2014 report (2014), on average, every person living in America has at least 1 computer, 1 smart phone or 1 console in their home. The average age of the players is 35. The last big concept expressed by Reeves and Read (2009), which he calls big time, is the time people spend with computer games. It is stated that an average of 3 billion hours a week is spent playing games in the USA (Reeves and Read, 2009). On the other hand, McGonigal states that an average player spends ten thousand hours playing games until he reaches the age of 21, and this time is the same as the number of lessons a student takes in middle school and high school (McGonigal, 2011).

Researches and studies on gamification show that gamification models and designs can be grouped as Generic Framework and Business-Specific Framework. When this classification is examined, it is seen that the models consist of two parts, component-based and design-based (Reiners and Wood, 2015). Component-based gamification models are Hunicke ve Zicherman's Mechanics, Dynamics, and Aesthetics model and Pyramid of game elements – Dynamic, Mechanics, and Components model (Hunicke et al., 2004; Matsubara et al., 2017). They are related with some gamification elements; levels, points, badges or leaderboards. However, it would be wrong to limit gamification only to these. Because gamification is not to make conventional actions a game, it is expressed as the redesign of business processes with game techniques for an enjoyable experience. Design-based gamification are Werbach's D6 model which is a gamification framework, Octalysis model, and Hook model (Hunicke et al., 2004; Matsubara et al., 2017). It is expected from these model that the gamification design will achieve success by using the right mechanics and dynamics suitable for the intended purpose, together with the use of visual representations that will appeal to the target audience.

In the perspective of education, gamification is not a learning method in education, it is an approach that aims to make learning more remarkable in the education process. Gamification in education can be considered as the transfer of the structure designed in the form of points, badges, experience points and levels to the classroom environment. Gamification activates the motivation that leads learners to work more (Muntean, 2011), triggers the competitive instinct, and encourages learners to display productive behaviors and at the same time reduce their non-productive passive behaviors. In addition, gamification supports not only the individual competition motivation, but also collaborative efforts to win (Glover, 2013).

On the other hand, the gamification and game-based learning in education are different each other. These two confused concepts are not the same when reviewed. Among these concepts, gamification is expressed as the use of game rules in situations outside the playground (Bozkurt and Genc Kumtepe, 2014), game-based learning, generally providing open or hidden learning within a playground. As mentioned before, in order for the application to be gamification, the game dynamics must be integrated into the planned action and provide a motivation for the action to be taken. In game-based learning; game and learning are fully integrated and learning already takes place while the game is being played. In game-based learning, the game is used as a tool to provide learning; there is no central game in gamification of a teaching environment; instead, game components such as badges, levels, leaderboards

are used by integrating them with the teaching environment. For this reason, gamification, which takes its basis from the game, has similar effects to the effects of games (Huotari and Hamari, 2012).

Although the use of gamification in educational applications is newer than other applications, it is one of the most used areas of gamification applications today. Gamified educational applications help students to increase their motivation and support their engagement in educational activities. The aim of the applications developed with gamification is to support students' learning for long periods of time and having fun, just like in video games.

In today's world, a change has been observed in the characteristics of learners and the need to create and organize educational systems that can meet the demands of the G-generation has emerged. Gamification is an approach that has emerged in order to meet the mentioned need, and it has been determined that the use of gamification applications in education and training activities is quite effective. The main reason for this is that teachers and students can participate in these activities voluntarily through gamification applications. With gamification, it is seen that teachers and students participate more in the learning process and these activities have become more efficient, attractive, fun and sustainable. However, the gamification approach is a process-oriented design. It should be considered that the quality of a poorly designed teaching situation will not be changed by gamification or a similar design (Bozkurt and Genc Kumtepe, 2014).

Another point to be considered in the application of gamification in the field of education is the adaptation of gamification to learners. Accordingly, games focus on problem solving and schools on teaching knowledge. In this context, every learner has different skills just like the players. Good learning environments should also allow gamification to be adapted to individual learning needs within the framework of this idea, and in this way, it should enable learners to solve problems by using different strategies. In a learning ecology supported by gamification, the learning action is continuous because the learners are intrinsically motivated.

The use of gamification in educational activities actually helps students become aware of their personal goals and shape their learning habits within this framework. In this process, students' failures are redefined and the frequency of feedback given to students is increased slowly and without boring the student. Giving students real-time feedback allows them to participate in activities confidently and comfortably, without fear of making mistakes. Because even if students make mistakes, they know that a correction for their mistakes will be indicated on time and on the spot. Therefore, students do not hesitate to try new things. In addition, with the gamification application, students are constantly aware of their progress in learning, feeling that every little effort has an effect.

When examined in general, it is evaluated that the benefits summarized below will be obtained with the use of gamification applications in educational activities (David, 2016). Accordingly, with the use of gamification:

- a) Students gain a sense of belonging and ownership about their own learning,
- b) They gain the desire to learn easily and by trying again, without fear of making mistakes,
- c) The classroom environment has become much more enjoyable and thus absenteeism habits have decreased,
- d) The progress of learning can be monitored much more clearly and effectively,
- e) Intrinsic motivation for learning is more developed in students,
- f) It has been observed that students feel much more comfortable while learning with gamification applications.

Quest to Learn (Q2L) school operating in New York, USA can be given as an example for the successful application of gamification techniques in educational activities (Oxan, Oxford Analytica, 2016). Q2L is a high school funded by the Institute of Play (IoP) and operating in the Manhattan area since 2009. All of the courses given in Q2L have been updated using gamification techniques. Educational applications used in the lessons are carried out with the help of offline games and in-class

activities that do not have an Internet connection. Among the main objectives of these activities is the discovery of students' predispositions with these gamification applications.

In recent years, with the application of gamification in different fields, it is seen that there are developments on the gamification approach in maritime education. It is necessary to evaluate the concept of gamification in terms of the logistics sector before the maritime sector such as “Fresh Connection” and “The Beer Game”. Fresh Connection is a computer-based logistics game based on fruit juice production. In this game, students are asked to keep up with the changing conditions in the supply chain and to respond successfully to the supply chain functions presented to them. The game can be run in one session, alternately every week for an entire term, or daily. The beer game, which is developed in 1960 at MIT laboratories, is a simulation designed to demonstrate the "whiplash effect" on the supply chain.

By examining the studies related to maritime education in the concept of gamification, various studies, which have focused on different view, in order to give a clear picture of concept on the field are found in the literature. For instance, Voloshynov (2019) presented the usage of digital escape room in educational electronic environment of maritime higher education institutions. It is highlighted that the communicative competency of future maritime professionals can be formed via the engagement of digital escape room with the maritime education. Yurzhenko et al. (2022) investigated the ways of a distance communication channel with gamification elements created in the electronic educational environment (on LMS Moodle) of maritime higher education institutions in order to form communicative competency of future maritime professionals. According to the received results, the quality and success of training increased. The use of gamification proved useful and helpful in the distance education of future maritime specialists. Rosedi et al. (2018) focused on the use of online quizzes and gamification in enhancing students' motivation for Diploma in Nautical Studies programme. This exploratory study aims to reap the benefits of using learning technologies such as the online quizzes and gamification in maritime education and training. Sartini (2020) aimed to examine the use of online gamification-based Kahoot quiz Platform in Maritime English learning. He proved to improve the speaking skill of nautical science cadets by the increasing number of maritime vocabularies as an indication. Consequently, there are several studies showing that games and gamification can provide both a strong incentive, support and application of knowledge for blended learning as well as on the formation of communicative competence of maritime students, professionals and marine engineers (Sherman and Yurzhenko, 2020; Markopoulos et al., 2019; Wood et al., 2012; Prun, 2021).

Since logistics education includes all modes of transport, it has a great impact on maritime education as well, but some gamification experiments specific to maritime education have been applied. For example, Port Simulator 2012 Hamburg game, which is based on a port operation scenario, is a computer-based simulation game that allows competition between players. The aim of the game is to manage and regulate the cargo handling operation of various types of ships coming to the port, to prepare the financial statements of the operations and to solve the problems that arise during the management process. This game is one of the limited number of computer based gamification applications in the maritime field. For this purpose, in this study, a situation analysis was conducted to understand students' perspectives on gamification in maritime education and to learn which courses are gamified.

3. Materials and methods

3.1. Data

In this study, it has been aimed to conduct a survey on university students who are studying maritime education in Türkiye. For this purpose, it is required to determine the data collection method. The sampling technique used in this study is simple random sampling. A simple random sample is a randomly selected subset of a population. In this sampling method, each member of the population has an exactly equal chance of being selected. (Thomas, 2022). There are 4 key steps to select a simple random sample; (i) to decide the population on target topic, (ii) to decide on the sample size, (iii) to select randomly the sample, (iv) to collect data from the sample. Accordingly, a random selection of

university students who are studying maritime education in Türkiye is followed, asking detailed questions about their thoughts in order to draw conclusions about the maritime education within the frame of gamification. In Türkiye, there are many institutions, which give maritime education, such as universities, high schools, naval academies, and private courses (Nas et al., 2017). However, in this study, the university level is considered. Accordingly, totally around 3000 maritime students exist in the universities in Türkiye for each year (Nas et al., 2017). In order to determine the appropriate sample size, the confidence level of the sample size is checked by considering the %90 confidence level and %10 margin of error for 3000 population size via a calculator tool for sampling size. The ideal sample size, which meets these confidence level, is 67. In this study, 76 students have been participated in the survey and 8 questions have been asked to the participants. The survey includes two parts. In the first part, the participants have been asked to answer questions about their gaming experiences. Most of the questions in this section are multiple choice questions. The questions in the second part of the questionnaire are about the participants' attitudes towards learning with computer games, their attitudes towards gamification, their expectations, and their ideas about how useful non-game systems can be in making fun.

3.2 Statistical analysis

In the context of outputs obtained from literature review, the hypothesis for this study is expressed as below:

H1: Gamification designs in education increases the motivation of the maritime students and interest of them to the lesson.

Accordingly, it is obvious that the academic success of the students whose motivation and interest increase will undoubtedly increase. Students with increased motivation, interest and academic success will be able to carry the country's education system to better points in terms of occupation quality, prestige of the country in foreign country, and pioneer country for maritime education. For understanding the gamification design contribution in the maritime education on the motivation and interest of the students to the lessons, a statistical analysis is carried out via surveys. The findings are presented and analysed as below.

3.3 Findings

As a result of the survey analysis, the findings are presented by examining the questions one by one.

In the first question, students have been asked how often they played computer games. According to Figure 1, 67.1% (51 people) of the participants play computer games at least once a week and 55.3% (42 people) of participants play computer games every day.

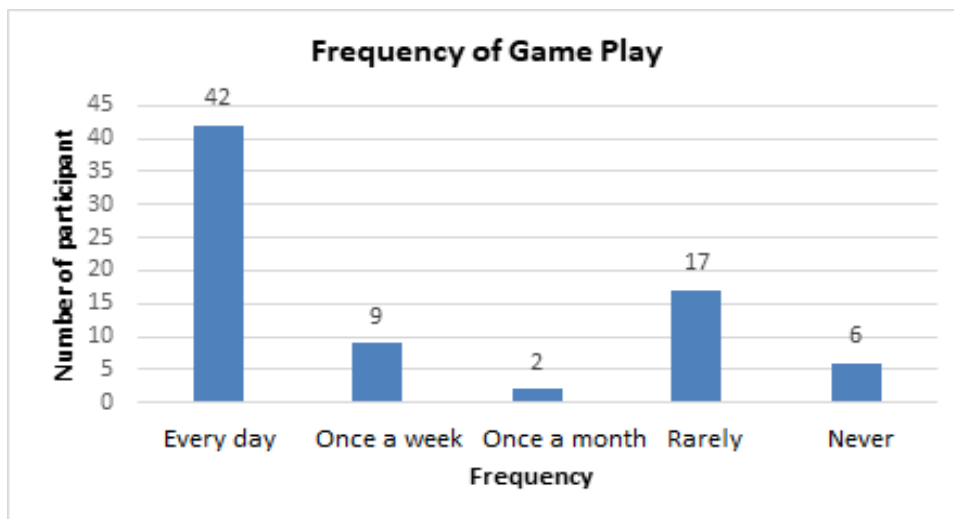


Figure 1. Frequency of game play.

In the second question students have been asked which types of computer games they play. According to Figure 2, 71% (54 people) of the participants are Multiplayer, 36.8% (28 people) of participants play Simulation, 35.5% (27 people) of them play Adventure type game, and 39.5% (30 people) of them play strategy. It can be said that the reason of the preference of multi-player games so much is the cooperation of people with the communication they establish among themselves or the sense of success brought by the competitive order increases the commitment to the environment.

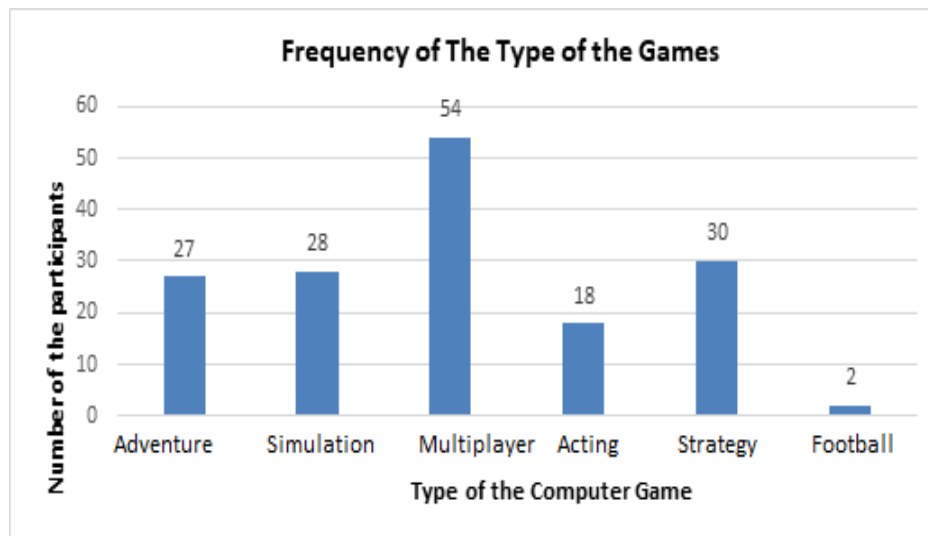


Figure 2. Frequency of type of the games.

In the third question students have been asked why they play computer games. In accordance with Figure 3, the most common reasons are boredom 78.9%, mental competition 43.4% and playing with others 42.1%, respectively.

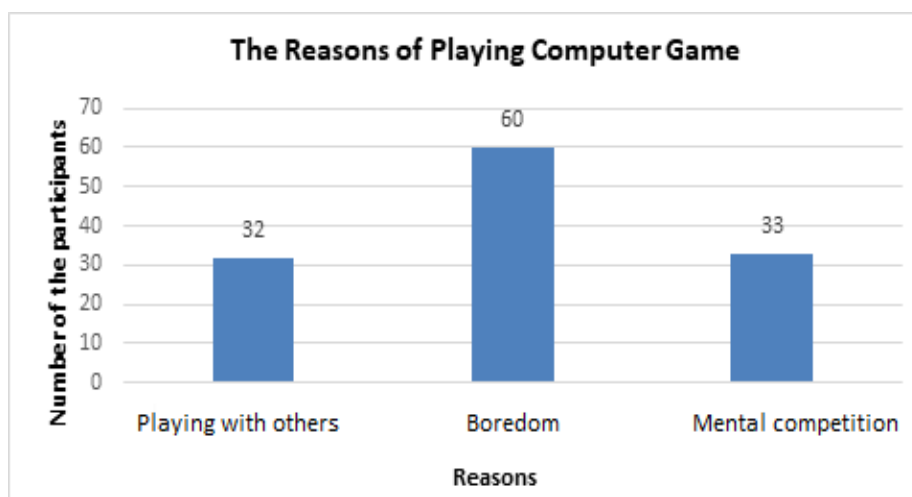


Figure 3. The reasons of playing computer game.

In another question, students have been asked about their thoughts on their attitudes towards learning using computer games. According to Figure 4, while a significant part of the students (72%) have been found it interesting to use games to learn, 21.1% of them have been undecided and 6.6% of them have been stated that they would not be interested.

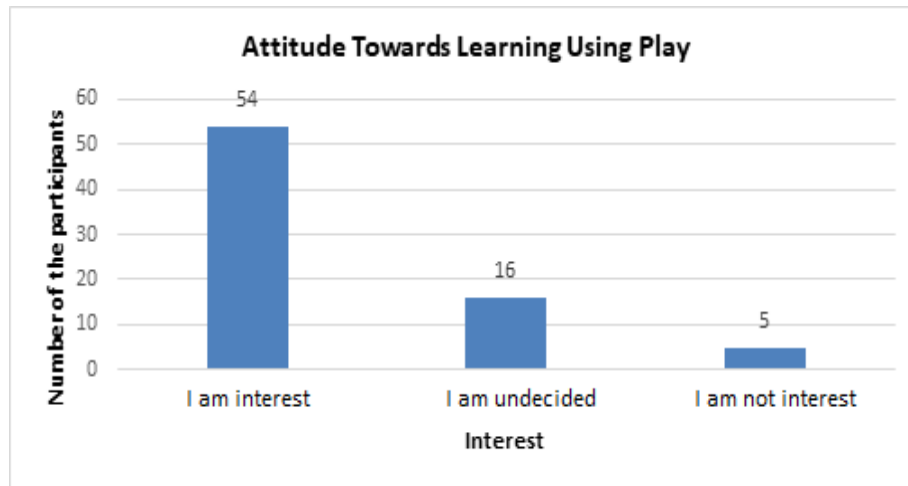


Figure 4. Attitude towards learning using play.

From these results, it is deduced that the students have game experience. The fact that the most preferred game type is multiplayer games shows that the social interaction of the participants in the game is attractive. Besides, this preference is a common combination of playing with others and relieving boredom.

In another question, students have been asked about whether they know the term of ‘Gamification’. According to Figure 5, 54 people (72%) have been stated that they had not heard the term gamification before.

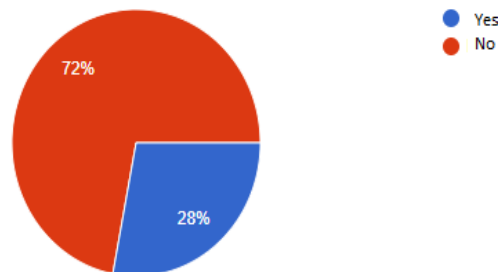


Figure 5. Knowledge of the term of “gamification”.

However, in another question, when a general definition of the term of the “Gamification” is given and students have been asked about their expectations about gamification in education, 75% of respondents have been said that gamification would make the lesson more interesting. 52.6% of them have been stated that it would improve the learning environment and 5% less of them have been stated that it would make the lesson more difficult in accordance with Figure 6. In addition, an answer given under the 'other' option is that gamification can help increase student motivation. These data show that most of the students have positive expectations about gamification in maritime education. Most students think that the use of gamification in education will make the lessons more interesting and improve the learning environment.

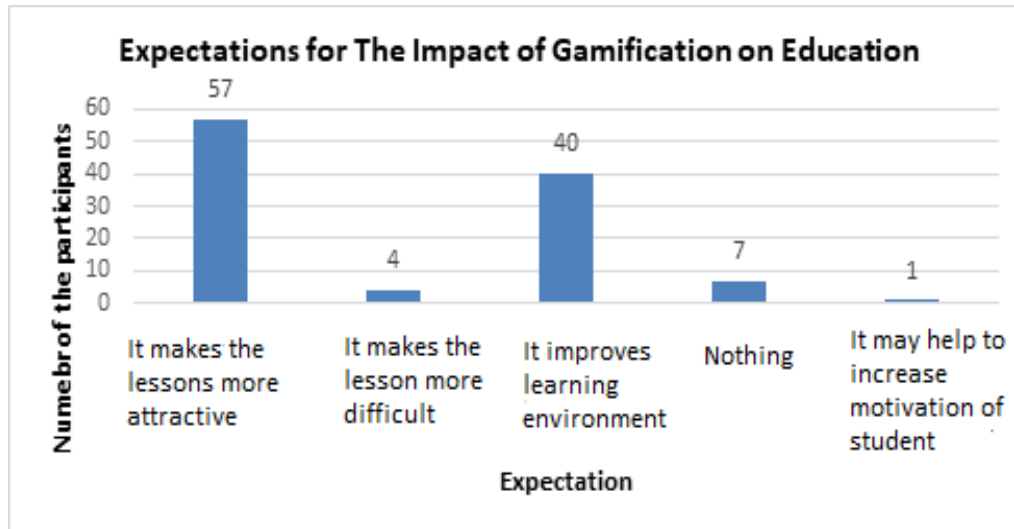


Figure 6. Expectations for the impact of gamification on education.

In addition, in the survey, the students have been also asked about the benefits of gamification. In accordance with Figure 7, 85.5%, 40.8%, 27.6%, and 21% of the participants have been chosen the answer 'to make it easier to understand the course content', 'to specify the points I need to improve myself', 'to allow me to compare my level of knowledge with other students', 'to prove how much they know about the subject', respectively.

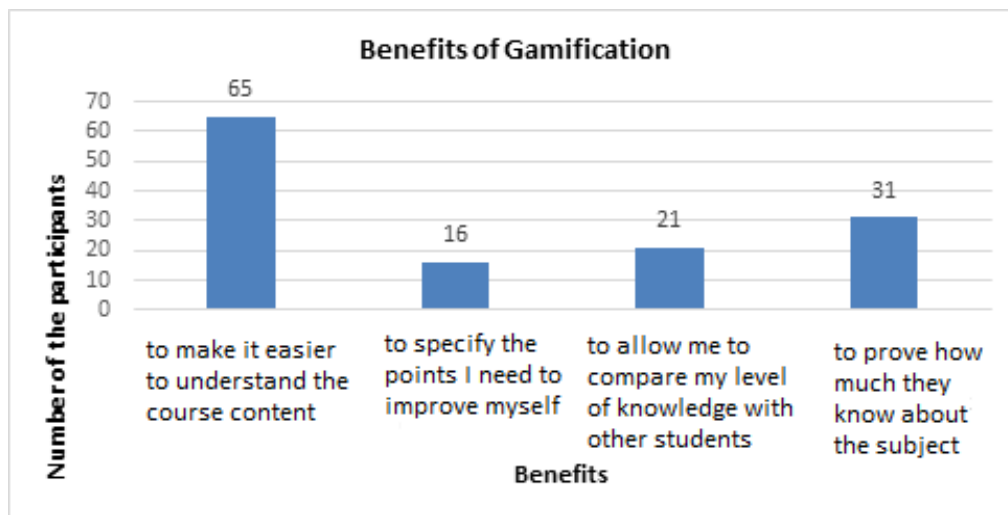


Figure 7. Benefits of gamification.

In the survey, an open-ended question has been asked to the students as the last question. 'Which lessons in your lesson plan do you think are gamified lessons?' When the answers given by the students have been examined, it was seen that a total of 40 participants have given answers and only 38 answers could be examined. 13 of the 38 answers (34.21%) include the course of 'Navigation' for gamification. In addition, 7 people (18.42%) who answered the question have said the "Celestial Navigation" or "Electronic Navigation" courses, which are a part of the Navigation course. In addition, 11 people have said the "Safety at Sea" course.

When we look at the courses given in maritime education, it is the common opinion of most students that the difficulty level of the navigation course is higher than other maritime courses. The fact that the "Navigation" course is more in the answers given to the survey question can be evaluated as an expectation that gamification will make difficult lessons easier to understand.

When the results of the survey are examined, it is seen that the majority of the students are intertwined with games every day. This shows that the game is a part of the students' life. In addition, it can be concluded that the reason why the majority of people prefer to play 'multiplayer' games is the desire to be successful brought by the competitive environment or the communication-based system being more interesting and increasing motivation even more. In other answers to the questions, a significant portion of the students, such as 71%, think that gamification will make the lessons more interesting.

4. Conclusion

In general terms, gamification, which is expressed as the inclusion of game design in non-game content, is used in many different areas such as health, trade and education. With the game design, which positively affects the loyalty and motivation of the users, larger masses can be reached. The inclusion of gamification designs in education will increase the motivation of the students and increase the interest shown by the students to the lesson. The academic success of the students whose motivation and interest increase will undoubtedly increase. Students with increased motivation, interest and academic success will be able to carry our country's education system to better points.

The increase in the use of gamification designs is of great importance in increasing the motivation and attracting the attention of today's generation who grew up with digital games. Studies should be expanded by researchers who will lead the increase of gamification designs and it should be applied more in educational institutions. It is thought that the role of the concept of gamification will be high in the positive attitude towards learning of the Z generation, who develop and grow with technology and have a high sense of commitment to digital game elements.

With the COVID-19 pandemic, which has affected the world, disruptions have occurred in many areas such as education and business life. It can be foreseen that some of the online solutions created with the compulsory innovations and changes brought by this epidemic period to both business and education life will become continuously sustainable, and in this way, the need to prepare new digital gamification designs with different content and integrate them with the existing education system. In this context, digital gamification experiences, which will be prepared in collaboration with experts in the field, following current technologies, will be one of the most important contributions to the field of education.

For future studies, it is tried to proof via multiple regression statistical analysis that the use of gamification designs for maritime education positively affects the interest shown by the students to the lesson and motivation of the users and whether the interest shown by the students to the lesson and motivation of the users positively affect the academic success of the students.

Researchers' Contribution Rate Statement

Author's contributions have equality.

Acknowledgement and/or disclaimers, if any

The study did not receive any support. There is no institution or person to thank.

Conflict of Interest Statement, if any

There is no any conflict between the authors.

References

- Ar, N. A.** (2016). Oyunlaştırmayla Öğrenmenin Meslek Lisesi Öğrencilerinin Akademik Başarı Ve Öğrenme Stratejileri Kullanımı Üzerine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya.
- Arkun-Kocadere, S., & Samur, Y.** (2016). *Oyundan Oyunlaştırmaya*. In A. İşman, F. Odabaşı, ve B. Akkoyunlu Eğitim Teknolojileri Okumaları, Tojet- Sakarya Üniversitesi.
- Bastug, S., Aydın, S. C.** (2020). Denizcilik Eğitiminde Oyunlaştırma Üzerine Derleme Türünde Literatür Çalışması. *Deniz Taşımacılığı ve Lojistiği Dergisi*, 2 (1): 28-35.

- Bozkurt, A., & Genc Kumtepe, E.** (2014). Oyunlaştırma, Oyun Felsefesi ve Eğitim: Gamification. *Akademik Bilişim Konferansı*, 2014, Mersin.
- Brigham, T. J.** (2015). An Introduction to Gamification: Adding Game Elements for Engagement. *Medical Reference Services Quarterly*, 34(4), pp.471-480.
- Bunchball.** (2013). *Gamification 101: An Introduction to Game Dynamics. Gamification 101*. Retrieved March 25, 2018 from <http://www.bunchball.com/gamification101>
- Burke, B.** (2014). *Gamify: How Gamification Motivates People to do Extraordinary Things*. Brookline, MA: Bibliomotion.
- Cotter, J., Forster, J. & Sweeney, E.** (2009). Supply Chain Learning - The Role of Games. Supply Chain Perspectives. *The Journal of the National Institute for Transport and Logistics*, 10 (3): 32-36.
- Danelli, F.** (2015). *Implementing Game Design in Gamification*. In T. Reiners ve L. C. Wood, (Eds.), *Gamification in Business and Education* (s. 67-79), Switzerland: Springer International Publishing.
- David, L.** (2016). *Gamification in Education, in Learning Theories*. Retrieved January 26, 20121 from <https://www.learning-theories.com/gamification-in-education.html>.
- De Freitas, A. A., & De Freitas, M. M.** (2013). Classroom Live: A Software-Assisted Gamification Tool. *Computer Science Education*, 23(2), pp. 186-206.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L.** (2011a). From Game Design Elements to Gamefulness: Defining Gamification. In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*, 9-15, ACM.
- Deterding, S., O'Hara, K., Sicart, M., Dixon, D., & Nacke, L.** (2011b). Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts. *CHI, 2011*, ACM, Vancouver, Kanada.
- Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., & Dixon, D.** (2011c.). Gamification: Toward a Definition. *CHI 2011 Gamification Workshop*, Vancouver, Kanada.
- Domínguez, A., Saenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J.-J.** (2013). Gamifying Learning Experiences: Practical Implications and Outcomes. *Computers & Education*, 63: 380-392.
- ESA.** (2014). *Esential Facts about the Computer and Video Game Industry*. Retrieved June 12, 2021 from <https://igea.net/2014/04/esas-2014-essential-facts-computer-video-game-industry/>
- Feng, K. & Ma, G.** (2008). Learning Supply Chain Management with Fun: An Online Simulation Game Approach. *California Journal of Operations Management*, 6, (1): 41-48
- Ferrer, C. R. & Karlsson, M.** (2015). *The Gamification of Journalism*. In H. Gangadharbatla ve D. Z. Davis (Ed.), *Emerging Research and Trends in Gamification*, Hershey, PA: IGI Global.
- Glover, I.** (2013) Play As You Learn: Gamification as a Technique for Motivating Learners. In: *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2013*.
- Gokkaya, Z.** (2014). Yetişkin Eğitiminde Yeni Bir Yaklaşım: Oyunlaştırma. *Hasan Âli Yücel Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(1), ss.71-84.
- Guler, C. & Guler, E.** (2015). Çevrimiçi Öğrenme Ortamlarında Oyunlaştırma: Rozet Kullanımı. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 4(3).
- Guler, E.** (2015). Mobil Sağlık Hizmetlerinde Oyunlaştırma. *Açık Öğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 1(2).
- Gurcay, T.** (2015). Gamification as an Information Exchange Tool in Motivational Design Patterns. *Yüksek Lisans Tezi*, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul.

- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H.** (2014). Does Gamification Work? A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In *System Sciences (HICSS), 47th Hawaii International Conference on-* (pp. 3025-3034.)
- Hanus, M. D., & Fox, J.** (2015). Assessing the Effects of Gamification in the Classroom: A Longitudinal Study on Intrinsic Motivation, Social Comparison, Satisfaction, Effort, and Academic Performance. *Computers & Education*, 80, pp. 152-161.
- Hsin-Yuan Huang, W., & Soman, D.** (2013). *A Practitioner's Guide to Gamification of Education*. Toronto: Rotman School of Management, University of Toronto.
- Hunicke, R., LeBlanc, M. & Zubek, R.** (2004). MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, California, U.S.A.
- Huotari, K., & Hamari, J.** (2012). Defining Gamification: A Service Marketing Perspective. In *Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference*. 17-22, ACM.
- Järvinen, A.** (2008). Games without Frontiers: Theories and Methods For Game Studies And Design. *Dissertation*, Tampere University, Finlandiya.
- Juárez, G. H. & Carballo, M. M.** (2016). Learning Gains, Motivation and Learning Styles in a Gamified Class. *International Journal of Engineering Education*, 32(1): 438-447.
- Juul, J.** (2003). The Game, the Player, the World: Looking For a Heart of Gamenes. *Level Up: Digital Games Research Conference*, Utrecht University, Hollanda.
- Kapp, K. M.** (2012). *The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education*, New York, NY: John Wiley & Sons.
- Karatas, E.** (2014). Eğitimde Oyunlaştırma: Araştırma Eğilimleri. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 15(2).
- Kim, J. T. & Lee, W. H.** (2015). Dynamical Model for Gamification of Learning (DMGL). *Multimedia Tools and Applications*, pp.1-11.
- Kuijpers, R. P.** (2009). Supply Chain Risk Management Game, Master System Engineering, Policy and Management (SEPM). *Master's Thesis Project*, Delft University of Technology, Faculty of Technology Policy & Management, Netherlands.
- Markopoulos, E., Lauronen, J., Luimula, M., Lehto, P. & Laukkanen, S.** (2019). Maritime Safety Education with VR Technology (MarSEVR). *10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunication (CogInfoCom)*, pp. 283-288.
- Marczewski, A. M.** (2012). *Forward Gamification: A Simple Introduction*, Kindle Books.
- Matsubara, P. G. F. & Da Silva, C. L. C.** (2017). Game Elements in a Software Engineering Study Group: A Case Study. *Software Engineering: Software Engineering Education and Training Track (ICSE-SEET) Conference (20-28 May)*, (s. 160-169).
- McGonigal, J.** (2011). *Reality is Broken*. New York.169, 402.
- Nas, S., Fıskın, R. & Cakır, E.** (2017). The Current Profile of Merchant Marine Officers' Manpower in Turkey, *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 9 (1), p 1-23.
- Wood, L. C. & Reiners, T.** (2012). Gamification in Logistics and Supply Chain Education: Extending Active Learning, in Kommers, P. and Tomayess, I. and Isaias, P. (ed), *Proceedings of the IADIS International Conference on Internet Technologies & Society (ITS 2012)*, Nov 28-30 2012, pp. 101-108. Perth, WA: International Association for Development of the Information Society (IADIS).
- Mora, A., Riera, D., González, C. S. G. & Moreno, J. A.** (2017). Gamification: A Systematic Review of Design Frameworks. *Journal of Computing in Higher Education*, 29 (3): 516-548.
- Muntean, C. I.** (2011). Raising Engagement in E-Learning through Gamification. In *Proceedings 6th International Conference on Virtual Learning ICVL* (pp. 323-329).

- Newzoo.** (2021). *Global Game Market*. Retrieved June 15, 2021 from <https://newzoo.com/insights/articles/global-games-market-to-generate-175-8-billion-in-2021-despite-a-slight-decline-the-market-is-on-track-to-surpass-200-billion-in-2023/>
- Oliver, E.** (2017). Gamification as Transformative Assessment in Higher Education. *HTS Theologies Studies/Theological Studies*, 73 (3), s. 1-15.
- Oxan, Oxford Analytica** (2016). *Gamification and the Future of Education. Report for World Government*. Retrieved January 15, 2021 from www.oxan.com
- Pamfilie, R., Vasilcovschi, A. & Bumbac, R.** (2016). A New Possible Way of Promoting Tourist Packages: Gamification. *Cactus Tourism Journal*, 13 (1): 5-10.
- Piccione, P. A.** (1980). *In Search of the Meaning of Senet*. Archaeological Institute of America.
- Polat, Y.** (2014). A Case Study: Gamification and Its Effect on Motivation of Learners of English. *Yüksek Lisans Tezi*, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul.
- Port Simulator.** (2012). Retrieved November 09, 2021 from <https://www.perdigital.com/pc-oyun/uig-international/port-simulator-2012-hamburg>
- Prensky, M.** (2007). *Digital Game-based Learning*. St. Paul: Paragon House Edition.
- Pruyn, J. F. J.** (2021). Games and Gamification in Blended Engineering Education. *Proceedings Event SEFI 49th Annual Conference: Blended Learning in Engineering Education: Challenging, Enlightening and Lasting*, Berlin, Virtual, Germany, 1163-1174.
- Procopie, R., Bumbac, R., & Vasilcovschi, A.** (2015). The Game of Innovation. Is Gamification A New Trendsetter? *The Amfiteatru Economic Journal*, 17(Special 9).
- Reeves, B., & Read, J. L.** (2009). *Total Engagement: Using Games and Virtual Worlds to Change The Way People Work And Businesses Compete*. Harvard Business School Press.
- Reiners, T. & Wood, L.C.** (eds). (2015). *Gamification in Education and Business*: Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
- Richter, G., Raban, D. R. & Rafaeli, S.** (2015). *Studying Gamification: The Effect of Rewards and Incentives on Motivation in Gamification*. In T. Reiners ve L. C. Wood (Eds.), *Gamification in Education and Business* içinde, (s. 21-46). Berlin: Springer.
- Rosedi, M., Rizal, S., Sap, M. D., Asri, M. & et al.** (2018). The Significance of Online Quizzes and Gamification in Enhancing Students' Motivation in Diploma in Nautical Studies. *International Journal of e-Learning and Higher Education (IJELHE)*, 8 (4). pp. 47-62. ISSN 1985-8620
- Sartini, S.** (2020). Kahoot in Maritime English Teaching: Its Impact on Nautical Science Cadet's Oral Reproduction and Vocabulary. *English Language Teaching Educational Journal*, 3 (1), p 41-51.
- Samur, Y.** (2016). *Dijital Oyun Tasarımı*. İstanbul: Pusula.
- Sherman, M. & Yurzhenko, A.** (2020). Experimental Research on the Formation of Future Ship Engineers' Communicative Competence Based on Gamification Approach. *Educational Dimension*, 55(3), 251–266.
- Sterman, J. D.** (1960). *The Beer Game, Flight Simulators for Management Education*. Massachusetts Institute of Technology. Retrieved November 09, 2021 from <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html>
- Thomas, L.** (2022). Simple Random Sampling | Definition, Steps & Examples. Scribbr. Retrieved September 09, 2022 from <https://www.scribbr.com/methodology/simple-random-sampling/#:~:text=Simple%20random%20sampling%20is%20a,possible%20of%20this%20random%20subset>.
- Tunga, Y. & Inceoglu, M. M.** (2016). Oyunlaştırma Tasarımı. 3. *Uluslararası Eğitimde Yeni Yönelimler Konferansı* (26-29 Nisan) Bildiri Kitabçığı, (s. 268-279), İzmir: Seferihisar.

Uskov, A. & Sekar, B. (2015). *Smart Gamification and Smart Serious Games*. In D. Sharma vd. (Eds.), *Fusion of Smart, Multimedia and Computer Gaming Technologies Research, Systems and Perspectives* içinde, (s. 7-36), Springer: Intelligent Systems Reference Library-84.

Vardarher, P. & Inan, K. (2017). Satış Personelinin Performansını Geliştirmeye Yönelik Oyunlaştırma Model Önerisi. *İş'te Davranış Dergisi*, 2 (1): 8-19.

Voloshynov S. A. (2019). The Use of Digital Escape Room in Educational Electronic Environment of Maritime Higher Education Institutions. *Proceedings of the 7th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2019)*, Kryvyi Rih, Ukraine, December 20. Edited by : Arnold E. Kiv, Mariya P. Shyshkina. *CEUR Workshop Proceedings*. – Vol. 2643. – P. 347–359

Werbach, K. (2014). (Re) Defining Gamification. *Persuasive Technology Konferansı*. Springer, İsviçre.

Wood, L. C. & Reefke, H. (2010). *Working With a Diverse Class: Reflections on the Role of Team Teaching, Teaching Tools and Technological Support*. In: Huai, H., Kommers, P. & Isaías, P., eds. *IADIS international conference on international higher education (IHE 2010)*, 2010 Perth, Australia: 72-79.

Yılmaz, M. & O'Connor, R. (2013). Yazılım Geliştiren Küçük Ölçekli Bir Organizasyon İçin Scrumban Yaklaşımı Ve Oyunlaştırma Uygulaması. *In Workshop on Agile Approaches to Software Development*.

Yurzhenko, A. Y., Bevzenko, J. Y., Kononova, O. Y. (2022). *Creation of a Distance Communication Channel With Gamification Elements*. Handbook of Research on the Influence and Effectiveness of Gamification in Education. IGI Global Publisher of Timely Knowledge, p.15, DOI: 10.4018/978-1-6684-4287-6.ch012.

Araştırma Makalesi

Şehir içi otobüs taşımacılığında kısa dönemli yolcu sayısı tahmini

Ece Sema Korkmaz¹, İlyas Özer², Serhat Berat Efe^{3,*}

¹ Graduate School of Natural and Applied Sci., Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

² Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey / AINTELIA Artificial Intelligence Technologies Company, Bursa, Turkey

³ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Turkey

*Correspondence: sefe@bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1172352

Özet: Tüm dünyada yaşanan teknolojik gelişmelerin etkisiyle Akıllı Ulaşım Sistemleri önemli bir pazar alanı oluşturmuştur ve bu da ülkeler arasında rekabet ortamı oluşmasına sebep olmuştur. Bu çalışmada, toplu ulaşım araçlarıyla erişim konusunda yaşanan problemlerin minimize edilmesi amacıyla akıllı ulaşım sistemleri teknolojileri ve yapay zekâ teknolojileri birlikte kullanılmıştır. Bu kapsamda öncelikle BURULAŞ'tan alınan ve 2019 yılı Ocak ve Haziran ayları arasında gerçekleşen yolculukları kapsayan büyük boyutlu veri Microsoft SQL Server ve Python programlama dili aracılığıyla analiz edilmiştir. Bu kapsamında 2019 yılı Ocak ve Haziran ayları içerisinde gerçekleşen Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı yolculuklar bilet ve hat tiplerine göre belirli takvim günleri temel alınarak ay, gün, saat ölçütlerine göre analiz edilmiştir. Analiz sonucunda hangi hattı en çok hangi bilet tipinin hangi zamanda kullandığı bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen bu farklı hat ve bilet tiplerine ait yolcu sayısı verileri, Python programlama dili aracılığıyla yolcu sayısı tahmini (forecasting) yapmak için kullanılmıştır. Böylelikle Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı istenilen otobüs hatlarına ait farklı zamanlardaki yolcu sayısı tahminleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım, trafik, akıllı ulaşım, akıllı ulaşım sistemleri, teknoloji, yapay zekâ, makine öğrenmesi

Short term passenger flow forecasting in urban bus transportation system with LSTM network

Abstract: With the effect of technological developments all over the world, Intelligent Transportation Systems has created an important market area and this has led to a competitive environment between countries. In this study, smart transportation systems technologies and artificial intelligence technologies were used in order to minimize the problems experienced in accessing by public transportation vehicles. In this context, first of all, the big-data that taken from BURULAŞ and covering the journeys between January and June 2019, were analyzed through Microsoft SQL Server and Python programming language. In this context, the journeys arriving at Bursa Uludağ University between January and June 2019 were analyzed according to the criteria of month, day and hour, based on certain calendar days according to ticket and line types. As a result of the analysis, the information on which line is used the most and which ticket type at which time was obtained. The passenger number data of these different lines and ticket types were used to forecast through Python programming language. Thus, estimates of the number of passengers at different times of the desired bus lines arriving at Bursa Uludağ University were obtained.

Keywords: Transportation, traffic, intelligent transportation, intelligent transportation systems, technology, artificial intelligence, machine learning

* Corresponding author.

E-mail address: sefe@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0002-6277-6926; 0000-0003-2112-5497; 0000-0001-6076-4166 (in hierarchical order)

Received 07.09.2022 ; accepted 30.09.2022

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Kentsel alanların sunduğu olanaklar ve hızla artan nüfus, hızlı ve plansız bir büyümeye neden olmaktadır. Bu alanlarda yaşanan hızlı ve plansız büyümeden en çok etkilenen yapılardan biri de ulaşım sistemlerdir. Nüfusun artmasıyla birlikte kentlerdeki nüfus yoğunluğunun arttığı ve ulaşım ağları yetersiz kaldığı görülmektedir (Özkul, 2019). Kentlerde ulaşım sistemlerindeki etkiler başta araç ve yaya trafiği hareketliliği artışı olmak üzere pek çok şekilde karşımıza çıkmaktadır. Gerek toplu taşıma sistemlerinde meydana gelen yoğunluk artışı gerek özel araç sahipliğinde yaşanan artış miktarı trafik yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda yakıt tüketimi, karbon salınımı, trafik kazaları, araç bakım masrafları ve ulaşımında harcanan zaman miktarlarındaki artış vb. sorunlar ortaya çıkmaktadır. Kentlerde yaşanan bu vb. ulaşım sorunlarının önüne geçilmesi, akılcı ve kalıcı çözümler üretmek insanların yaşam standartlarının yükseltilmesi amacıyla bilgi ve iletişim alanında yaşanan teknolojik gelişmeler paralelinde akıllı ulaşım sistemlerinden faydalanılmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); kentlerde artan hareketlilik sonucunda ortaya çıkan seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin artırılması, mevcut yolların kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin artırılması, enerji verimliliğinin sağlanarak çevreye ve ülke ekonomisine zararın minimize edilmesi gibi amaçlar doğrultusunda kullanıcı-araç-altyapı ve yolcu arasında çok yönlü veri alışverişi ile gerçekleşen sistemler bütünüdür (Tektaş vd., 2019; Andersen vd., 2000; Tektaş vd., 2016).

Bugün dünyada AUS'un ortak hedefleri arasında ulaşım sistemlerinde yaşanan sorunları önlemek amacıyla artış gösteren ulaşım hedefleri, ulaşımında verimlilik ve enerji tasarrufları sağlanması, ulaşımın sebep olduğu çevresel etkilerin azaltılması noktasında mevcut altyapı ve arazi düzeninin dikkate alınarak orta ve uzun vadeli çözümler bulmak yer almaktadır (Andersen vd., 2000). Bunu yaparken de doğru tahminler yapan ve verimli çalışan bir trafik tahmin sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. AUS'un faydalandığı bu teknolojik yöntemler gelenekselden yöntemlerden farklı yöntemler ve bilgiler gerektirmektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020). Çünkü algılayıcılardan, kameralardan, trafik yönetim merkezlerinden gelen veriler oldukça çeşitli, büyük hacimli ve karmaşık verilerdir. Bu büyük verilerin (Big Data) klasik yöntemlerle toplanması, saklanması ve analiz edilmesi oldukça güçtür. Bu problemin aşılması amacıyla literatürde farklı yapay zekâ yaklaşımları mevcuttur (Gorur, vd. 2022). Yapay zekâ algoritmaları büyük veri içeren çalışmaların çoğunda büyük avantajlar sağlamaktadır (Ozbay, vd. 2021, Ozer, vd. 2021). Bu algoritmalar bilimin her alanında kullanılmaktadır (Ozer, vd. 2021).

Bu çalışma kapsamında özele indirgenecek olursa, en iyi trafik tahmin sistemini bulmak için de Yapay Zekâ Teknolojilerinden (Artificial Intelligence) Makine Öğrenmesi (Machine Learning) ve Derin Öğrenme (Deep Learning) teknikleri gibi farklı modeller kullanılmaktadır (Nagy, vd. 2018; Do, vd. 2019; Khadhir, vd. 2021). Büyük verilerin bu teknikler ile işlenmesi sayesinde trafikte yaşanan problemlerinin çözülmesi, trafikteki davranışların önceden tahmin edilerek önlemler alınması mümkündür. Bu nedenle yapay zekâ teknolojilerinden makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri akıllı ulaşım sistemlerinin tasarlanmasında oldukça önemlidir (Chen, vd. 2020; Toncharoen vd. 2018).

Literatürde farklı trafik tahmin yöntemleri için yapılmış farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, teknolojinin beraberinde getirmiş olduğu akıllı ulaşım sistemleri teknolojilerinden dolayısıyla akıllı sistemlerden ve yapay zekâ teknolojilerinden faydalanılarak tasarlanmıştır (Ma, vd. 2021; Hollander, vd. 2008; Fonzone, vd. 2015).

Bu çalışmanın temel motivasyonunu oluşturan yolcu sayısı tahminleme algoritmaları da literatürde oldukça geniş yer bulmaktadır (Watkins, vd. 2011; Gkiotsalitis, vd. 2019; Wang, vd. 2017).

Çalışma kapsamında incelenen literatür neticesinde, toplu taşıma yolculuklarında yolcu ve hizmet sağlayıcıları açısından yaşanan (seyahat ve bekleme süreleri, enerji kayıpları, işletme maliyetleri vb.) sorunların optimize edilmesi ve hatta tamamen çözülmesi noktasında farklı model ve çözüm yöntemleri önerildiği görülmektedir (Chen, 2014; Kane, vd. 2016; Tang, vd. 2021). Bu çalışmada, anakent şehirlerde giderek artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte yerleşim alanı içerisinde yer alan ve sınırlı kentsel arazi sebebiyle genişletilemeyen yollar ve giderek artan özel araç sahipliği nedeniyle özellikle kent içi toplu taşıma sistemlerinde yaşanan sıkıntıların akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları ile optimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla kara, deniz ve havayolu ile erişilebilen bir şehir olması, gelişen sanayisi ve ticaret merkezi konumunda olması sebebiyle çok fazla göç alan ve hızla büyüyen Bursa

ilinde yoğun trafik hareketliliğinin olduğu bölgelerden biri olan Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı yolculuklar incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında literatür araştırmalarından farklı olarak yolcuların durakta bekleme süreleri, araçların doluluk oranları, araçların hareket çizelgeleri ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan işletme maliyetleri gibi hem yolcu hem hizmet sağlayıcısı kriterlerinin hepsi bir arada ele alınıp optimize edilecektir. Bu sayede seçilen bölgeye erişimde yaşanan ulaşım sorunlarına makro ve mikro ölçekli çözümler üretilirken daha konforlu ve sürdürülebilir seyahatler sağlanacaktır.

2. Akıllı kart verileri ile bursa kent içi yolcu taşımacılığı analizi

Lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinin işletmesi şehirde BURULAŞ Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş sorumluluğundadır. Lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerine aşağıda belirtilen sektörler de dâhil olmakla birlikte yolcu ücret ödeme sistemleri ve araç mülkiyet hakları farklılık göstermektedir (B.P.AŞ., 2018)

- Belediye otobüsleri,
- Özel halk otobüsleri,
- Alt işletmeler
- İlçe hatları

Tablo 1. Lastik tekerlekli toplu taşıma sistemleri hat ve araç sayısı

	Hat Tipi	Hat Sayısı	Araç Sayısı
Şehir Merkezi Hatları	Belediye Otobüs Hatları	99	335
	Özel Halk Otobüsü Hatları (Batı)	60	325
	Özel Halk Otobüsü Hatları (Doğu)	14	55
	Alt İşletme Hatları	57	115
	İnegöl	25	172
İlçe Hatları	İznik	11	51
	Karacabey	29	48
	Mustafakemalpaşa	38	80
	Orhangazi	21	64
	Yenişehir	11	29
	Genel Toplam	365	1274

Bu çalışmanın temel amacını Bursa Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde yer alan ve BURULAŞ Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş sorumluluğunda olan Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı yolculuklara ait otobüs hatları incelenerek forecasting (tahmin) yapılması oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda yolcu taşıma sistemlerinde elektronik bilet olarak kullanılan BursaKART verilerinden faydalanılmaktadır. Bir akıllı kart sistemi olan BursaKART elektronik bilet olma özelliği dışında her karta özel bir kart numarası bulundurması ve toplu taşıma araçlarında yer alan validatörlere okutulmasıyla kişilerin gün içinde gerçekleştirdikleri yolculuk rotaları ve yolculuk saatlerine ait bilgiler de vermektedir. BursaKART'a ait bu bilgiler aracılığıyla Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı yolculuk analizleri yapılarak kişilerin yolculuk alışkanlıklarına bağlı alternatif ulaşım seçeceklerinin araştırılması, mevcut toplu taşıma hattına ait düzenlemeler, kullanılan toplu taşıma hattının diğer hatlarla entegrasyonu hedeflenmiştir.

3. Verilerin analizi ve model kurgusu

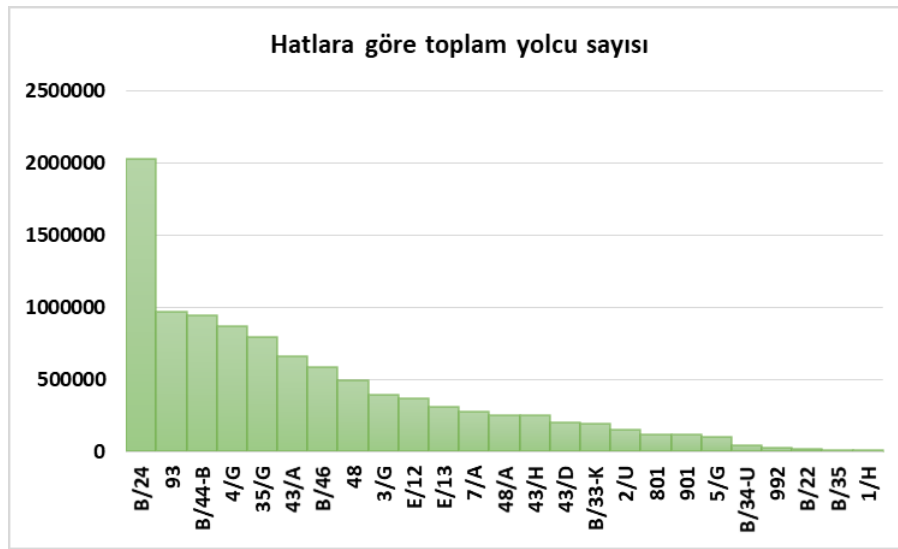
BURULAŞ Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş'den alınan BursaKART verileri 2019 yılı Ocak-Haziran ayları arasında altı aylık bir süreci kapsamakta ve farklı kartlara ait 135.029.196 adet yolculuk gerçekleştiği tespit edilmiştir. BursaKART'a ait bu verilerin büyük hacimli olması ve veri çeşitliliği sebebiyle bu veriler Büyük Veri (Big Data) olarak nitelendirilmektedir. Bu büyük verilerin saklanması, analiz edilmesi ve işlenmesi geleneksel hesaplama yöntemleriyle zor ve maliyetli olduğu için tercih edilmemektedir. Büyük Veri (Big Data) değişken, karmaşık, büyük hacimli, çeşitliliği fazla ve belirli hız aralıklarıyla elde edilen verilerin bütünü anlamına gelmektedir. Bu büyük verilerin işlenmesi konusunda en uygun ve en güvenilir karar

metodunu bulmak için yaygın olarak Yapay Zekâ (Artificial Intelligence), Makine Öğrenmesi (Machine Learning) ve Derin Öğrenme (Deep Learning) teknikleri kullanılmaktadır (Ozer, vd. 2018, Ozer, vd. 2017, Ozer, vd. 2018). Büyük verilerin bu teknikler ile işlenmesi sayesinde trafikte yaşanan problemlerinin çözülmesi, trafikteki davranışların önceden tahmin edilerek önlemler alınması mümkündür. Bu nedenle yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri akıllı ulaşım sistemlerinin tasarlanmasında oldukça önemlidir. Bu çalışmada ise Derin Öğrenme Teknikleri tabanlı Uzun-Kısa Dönemli Bellek (Long Short-Term Memory-LSTM) ve Geçitli Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit-GRU) teknikleri kullanılmıştır.

Bu veriler amaçlanan hedefler doğrultusunda derin öğrenme modellerinde kullanılmadan önce ön analiz işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla ilk olarak kentin yaya ve araç trafiğinde hareketliliğin ve yoğunluğun fazla olduğu bölgelerden biri olan, Bursa Uludağ Üniversitesinin ve Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinin bulunduğu ve yolculuk çekim merkezi olarak nitelendirilebileceğimiz Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı yolculuklara ait BURULAŞ'tan alınan ve .mdf (birincil veri dosyaları) dosya formatında olan verilerin Microsoft SQL Server üzerinde incelenerek çalışma bölgesi varışlı tüm hat ve bilet tiplerine (tam kart, öğrenci, indirimli kart, engelli kart ve diğer kartlar) ait otobüs hatları analiz edilmiştir. Alınan BursaKART verilerinde yolculukların bilet tipi, kart numarası, tarihi ve saati, hangi hat üzerinde gerçekleştiği, coğrafi koordinat bilgileri vb. veriler yer almaktadır.

Analiz sonucunda 4/G, 48/A, 992, B/35, E/13, 3/G, 801, 93, B/34-U, B/46, B/44-B,43/H, E/12, 43/D, 5/G, 1/H, 1/T, 901, 35/G, 43/A, 7/A, B/22, B/24, 2/U, 48, B/33-K numaralı hatların Bursa Uludağ Üniversitesi güzergâhında olan otobüs hatları olduğu tespit edilmiştir. Bursa Uludağ Üniversitesi'ne giden hatların tespiti hususunda ise kamuya açık olan www.burulas.com.tr internet sitesinde yer alan otobüs sefer bilgisi ve güzergâh haritalarından yararlanılmıştır.

Bu hatlardan en çok tercih edilen hatlara ait yolcu sayılarının analiz ve ayıklama işlemlerinin ardından en yoğun otobüs hatlarının yolcu sayısı dağılımı ve aylara göre gösterdiği değişkenlik çıkarılmıştır Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Hatlara göre toplam yolcu sayısı dağılımı

4. Akıllı kart verileri ile toplu taşıma sistemi yolcu sayısı tahmini

Literatürde benzer çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen yapay sinir ağı modellerinden Uzun-Kısa Dönemli Bellek (Long-Short Term Memory-LSTM) ve Kapılı Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit-GRU) modelleri kullanılarak, Bursa Uludağ Üniversitesi varışlı otobüs hatlarında yolcu sayısı tahmini uygulaması anlatılmıştır. Çalışma modeli uygulanırken, farklı yapay sinir ağı modelleriyle

farklı düğüm ve katman sayısı değerleri rastgele seçilerek uygulanmıştır. Bu rastgele seçimin sebebi yapay sinir ağı tabanlı sinir ağı modellerinin genellikle sezgisel olması yani başlangıçta seçilen değerlerin her seferinde farklı sonuç değerleri oluşturmasıdır. Bu amaçla çalışma alanı kapsamındaki otobüs hatlarına farklı modeller, farklı düğüm ve katman sayılarıyla uygulanmış ve elde edilen farklı sonuç değerleri tablolar ve grafiklerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada girdi verisi olarak 1 Ocak 2019 ve 30 Haziran 2019 tarihlerini arasını kapsayan ve giriş katmanına uygulanan yolcu sayısı verilerinin %90'ı eğitim seti, %10'u test seti olarak kullanılmıştır. BursaKART verileri kullanılarak uygulanacak yapay sinir ağı modellerinde model; girdi katmanı, LSTM veya GRU algoritmaları ve çıktı katmanı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Burada girdi katmanına farklı hatlara ait farklı zamanlarda gerçekleşen yolcu sayıları uygulanmaktadır. Model uygulanırken düğüm sayıları 100 ve 200 olmak üzere iki değer, eğitimin kaç iterasyonda çalışacağını gösteren “epoch” değeri ise 100, 150 ve 200 olmak üzere üç farklı değer, LSTM ve GRU ağlarında tek katmanlı ve üç katmanlı olarak kullanılmıştır. Ayrıca otobüs hatlarına ait yolcu sayısı verileri 15'er dakikalık periyotlarla giriş katmanına uygulanmaktadır. Çıktı katmanında ise modelin tahmin sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı grafik, RMSE ve MAE değerleri elde edilmektedir.

Modelin uygulanması aşamasında zamanı ve bellek depolama alanlarını optimize etmek için son zamanlarda makinesi öğrenmesi alanında sıklıkla kullanılan gradyan tabanlı Adam optimizasyonu kullanılmıştır (Kingma, vd. 2015). Bu sayede geleneksel gradyan algoritmalarına göre yüksek boyutlu veri kümesi olan otobüs hat verileri modelde çalışırken zaman ve bellek daha optimum düzeyde kullanılmıştır. Model sonucu çıktı katmanında oluşan tahminleri değerlendirmek için Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error-RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE) metrik değerleri kullanılmıştır.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2)$$

$$e_t = r_t - p_t \quad (3)$$

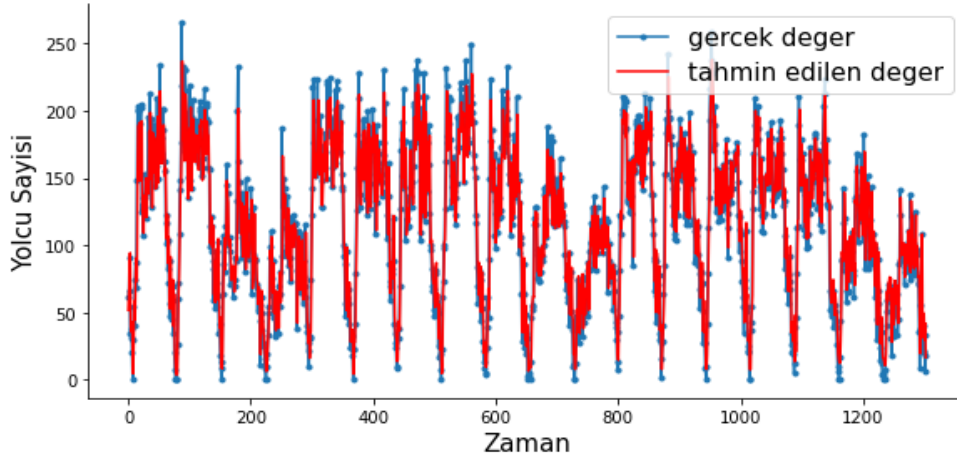
Denklem (1) ve Denklem (2)'de t belirli bir zamanı, r_t zaman aralığını, p_t tahmin edilen zamanı ifade ederken, hata Denklem (3) ile ifade edilmektedir (Gültepe, 2019).

Tahminleme çalışmalarına yolcu sayısı en fazla olan B/24 numaralı hat ile başlanmıştır. Bu hatta ait tüm bilet tipleri, tam bilet ve öğrenci bilet tipleri için farklı başlangıç değerleri ile LSTM ve GRU ağ modeli uygulanmıştır. B/24 numaralı hatta tüm bilet tipleri için uygulanan modellere ait elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 2'de verilmiştir. RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 27,749 ve 21,934 olarak en iyi sonuç olup, GRU ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 2. Farklı başlangıç koşullarında B/24 Hattı RMSE ve MAE değerleri

B/24 Hattı Tüm Bilet Tipleri Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri						
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	27,767	27,889	27,916	27,831	27,749	27,863
MAE	21,932	22,023	22,064	22,047	21,934	22,022

Tablo 2'de verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. B/24 tüm bilet tipleri için gerçek değerler ve tahmin değerleri

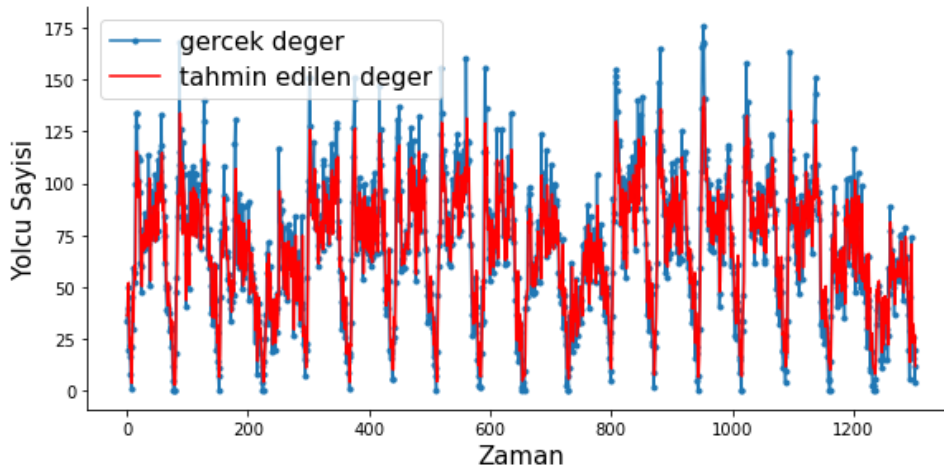
Bu değerler 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katmanlı GRU sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. 5.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 27,749 ve 21,934 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 3.test denemesi sonucu sırasıyla 27,916 ve 22,064 olarak LSTM ağı ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE ve MAE değerlerinin, en kötü RMSE ve MAE değerlerine göre sırasıyla %0,60 ve %0,59 iyileştiği tespit edilmiştir.

B/24 numaralı hatta tam bilet tipi için rastgele başlangıç ağırlıkları seçilerek uygulanan LSTM ve GRU ağ modelleri sonucu elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 3'te verilmiştir. RMSE ve MAE sırasıyla 18,517 ve 14,569 ile en iyi sonuç olup GRU ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 3. Farklı başlangıç değerleriyle B/24 hattı tam bilet tipi RMSE VE MAE değerleri

B/24 Hattı Tam Bilet Tipi Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri						
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	18,531	18,724	18,644	18,602	18,517	18,652
MAE	14,555	14,652	14,609	14,591	14,569	14,613

Tablo 3'te verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. B/24 tam bilet tipi için gerçek değerler ve tahmin değerleri

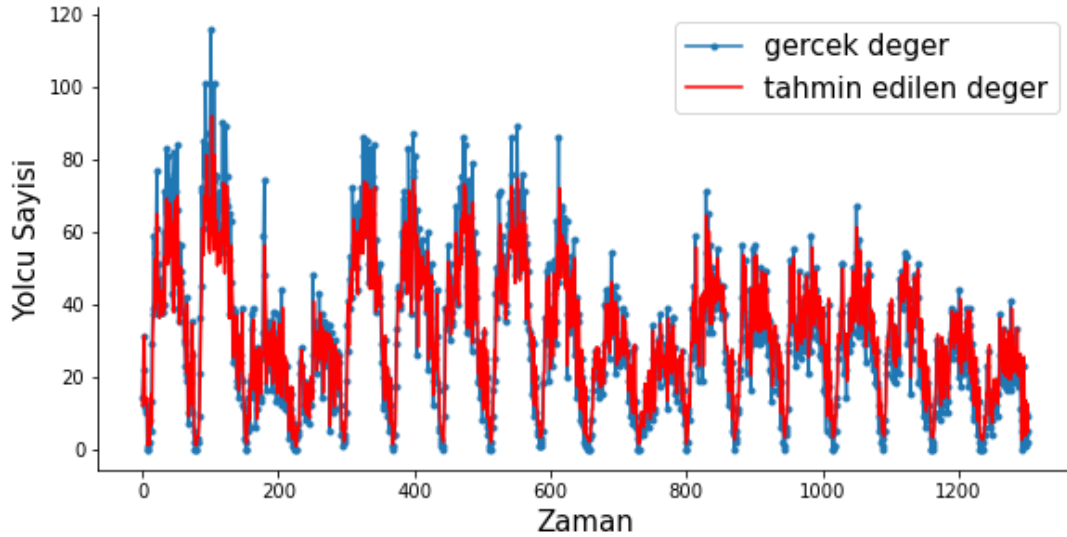
Bu değerler 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katmanlı GRU sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. 5.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 18,517 ve 14,569 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 2.test denemesi sonucu sırasıyla 18,724 ve 14,652 olarak LSTM ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE ve MAE değerlerinin, en kötü RMSE ve MAE değerlerine göre sırasıyla %1,10 ve %0,56 iyileştiği tespit edilmiştir.

B/24 numaralı hatta öğrenci bilet tipi için rastgele başlangıç ağırlıkları seçilerek uygulanan LSTM ve GRU ağı modelleri sonucu elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 4'te verilmiştir. RMSE ve MAE sırasıyla 11,418 ve 8,701 olarak en iyi sonuç LSTM ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 4. Farklı başlangıç değerleriyle B/24 hattı öğrenci bilet tipi RMSE VE MAE değerleri

B/24 Hattı Öğrenci Bilet Tipi Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri						
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	11,418	11,619	11,628	11,744	11,452	11,631
MAE	8,701	8,844	8,853	8,968	8,713	8,863

Tablo 4'te verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. B/24 öğrenci bilet tipi için gerçek değerler ve tahmin değerleri

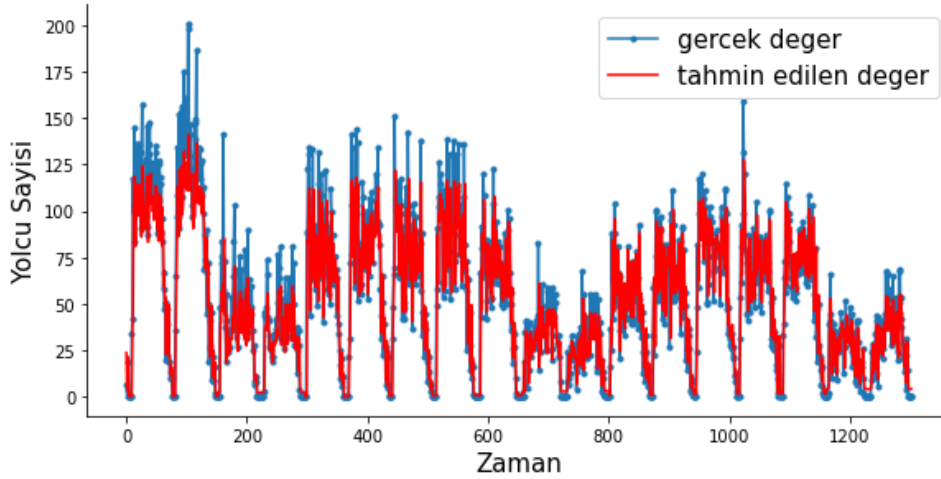
Bu değerler 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katmanlı LSTM sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. 1.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 11,418 ve 8,701 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 4.test denemesi sonucu sırasıyla 11,744 ve 8,968 olarak GRU ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE ve MAE değerlerinin, en kötü RMSE ve MAE değerlerine göre sırasıyla %2,77 ve %2,97 iyileştiği tespit edilmiştir.

B/44-B numaralı hatta ait tüm bilet tipleri için rastgele başlangıç ağırlıkları seçilerek uygulanan LSTM ve GRU ağı modelleri sonucu elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 5'te verilmiştir. RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 21,450 ve 15,649 olarak en iyi sonuç LSTM ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 5. Farklı başlangıç değerleriyle B/44-B hattı tüm bilet tiplerinin RMSE VE MAE değerleri

	B/44-B Hattı Tüm Bilet Tipleri Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri					
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	21,556	21,450	21,495	21,655	21,558	21,571
MAE	15,614	15,649	15,577	15,570	15,652	15,536

Tablo 5’te verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 5’de gösterilmektedir.

**Şekil 5.** B/44-B tüm bilet tipleri için gerçek değerler ve tahmin değerleri

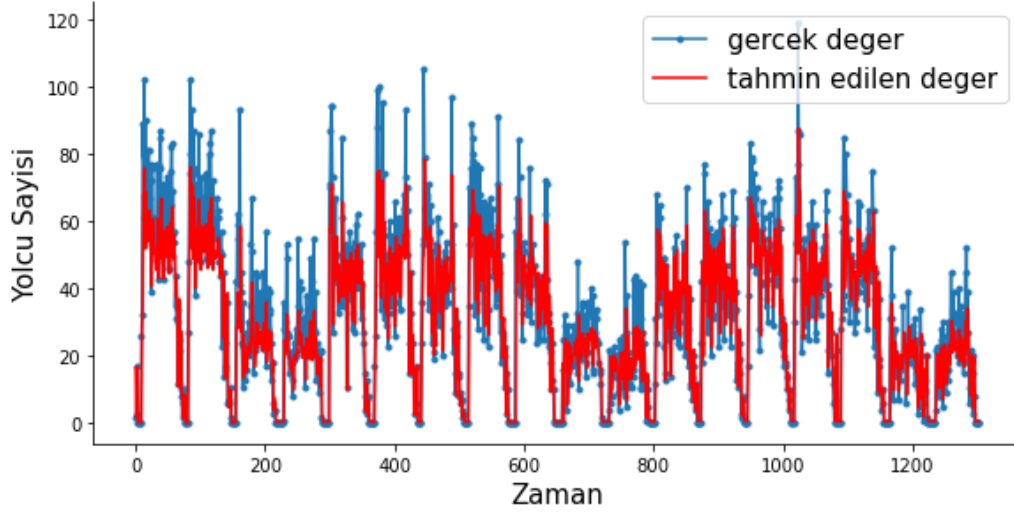
Bu değerler 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katmanlı LSTM sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. 2.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 21,450 ve 15,649 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 4.test denemesi sonucu sırasıyla 21,655 ve 15,570 olarak GRU ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE değerinin, en kötü RMSE değerine göre %0,95 iyileştiği tespit edilmiştir.

B/44-B numaralı hatta ait tam bilet tipi için rastgele başlangıç ağırlıkları seçilerek uygulanan LSTM ve GRU ağ modelleri sonucu elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 6’da verilmiştir. RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 14,305 ve 10,186 olarak en iyi sonuç GRU ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 6. Farklı başlangıç değerleriyle B/44-B hattı tam bilet tipi RMSE VE MAE değerleri

	B/44-B Hattı Tam Bilet Tipi Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri					
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	14,468	14,467	14,467	14,439	14,484	14,305
MAE	10,307	10,328	10,315	10,229	10,353	10,186

Tablo 6’da verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 6’da gösterilmektedir



Şekil 6. B/44-B tam bilet tipi için gerçek değerler ve tahmin değerleri

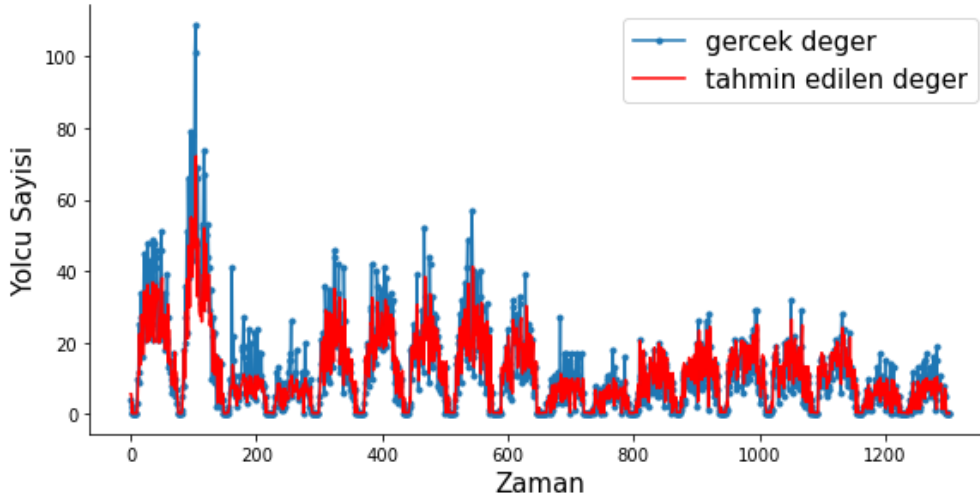
Bu değerler 200 düğüm sayısı, 150 epoch değeri ve 3 katmanlı GRU sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. 6.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 14,305 ve 10,186 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 5.test denemesi sonucu sırasıyla 14,484 ve 10,353 olarak GRU ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE ve MAE değerlerinin, en kötü RMSE ve MAE değerlerine göre sırasıyla %1,26 ve %1,61 iyileştiği tespit edilmiştir.

B/44-B numaralı hatta öğrenci bilet tipi için rastgele başlangıç ağırlıkları seçilerek uygulanan LSTM ve GRU ağı modelleri sonucu elde edilen hata ölçüt değerleri Tablo 7’de verilmiştir. RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 8,066 ve 5,427 olarak en iyi sonuç LSTM ağı ile elde edilmiştir.

Tablo 7. Farklı başlangıç değerleriyle B/44-B hattı öğrenci bilet tipi RMSE VE MAE değerleri

	B/44-B Hattı Öğrenci Bilet Tipi Yolcu Sayısı Tahmini Hata Ölçüt Değerleri					
	1.TEST (LSTM)	2.TEST (LSTM)	3.TEST (LSTM)	4.TEST (GRU)	5.TEST (GRU)	6.TEST (GRU)
RMSE	8,166	8,066	8,169	8,152	8,148	8,098
MAE	5,389	5,427	5,378	5,388	5,480	5,360

Tablo 7’de verilen RMSE ve MAE değerleri ile elde edilen gerçek ve tahmin edilen yolcu sayısı grafiği Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. B/44-B öğrenci bilet tipi için gerçek değerler ve tahmin değerleri

Bu değerler 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katmanlı LSTM sinir ağı ile gerçekleştirmiştir. 2.test denemesi sonucu elde edilen en iyi RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 8,066 ve 5,427 iken en kötü RMSE ve MAE değerleri 3.test denemesi sonucu sırasıyla 8,169 ve MAE 5,378 olarak LSTM ile elde edilmiştir. Bu durum için, rastgele başlangıç değerleriyle elde edilen sonuçlarda en iyi RMSE değerinin, en kötü RMSE değerine göre %1,26 iyileştiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada farklı hatlara ve farklı bilet tiplerine ait elde edilen RMSE ve MAE değerleri yolcu sayısı tahmin grafikleri ile birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir ve en iyi RMSE ve MAE değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Hatlara ve bilet tiplerine ait en iyi RMSE ve MAE değerleri

Hat Adı	Bilet Tipi	RMSE	MAE
B/24	Bütün	27,749	21,934
	Tam	18,517	14,569
	Öğrenci	11,418	8,701
B/44-B	Bütün	21,450	15,649
	Tam	14,305	10,186
	Öğrenci	8,066	5,427
4/G	Bütün	29,957	23,644
	Tam	11,573	9,031
	Öğrenci	18,015	13,441

Literatür çalışmalarındaki tahmin modellerinde aylık ve yıllık gibi uzun vadeli (long-term) tahminler yapılırken bu çalışmada ise günlük, haftalık gibi kısa vadeli (short-term) tahminler gerçekleştirilmiştir. Bu kısa vadeli tahminler farklı otobüs hatları ve farklı bilet tipleriyle gerçekleştirilen yolculuklardaki yolcu sayısı tahminleri yaparak otobüs sayılarının ve otobüs hatlarının sefer saatlerinin ihtiyaçlar doğrultusunda yeniden düzenlenmesine olanak vermektedir.

5. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, 1 Ocak 2019 ve 30 Haziran 2019 tarihleri arasında BursaKART verilerine ait B/24, B/44-B ve 4/G numaralı otobüs hatlarından elde edilen yolcu sayısı veri seti kullanılmıştır. Bu veri setleri, RNN teknikleri arasında bulunan LSTM ve GRU sinir ağları ile oluşturulmuş 6 farklı model kullanılarak yolcu sayısı tahmini gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Önerilen LSTM ve GRU sinir ağları modeli, rastgele seçilen farklı düğüm, katman sayısı ve epoch sayısı ile oluşturulmuştur. Bu rastgele seçimin sebebi RNN tabanlı modellerin genellikle sezgisel olması yani başlangıçta seçilen değerlerin her seferinde farklı sonuç değerleri oluşturmasıdır. Modelin uygulanması aşamasında zamanı ve bellek depolama alanlarını optimize etmek için makine öğrenmesi alanında kullanılan gradyan tabanlı Adam optimizasyonu tercih edilmiştir. Bu sayede geleneksel gradyan algoritmalarına göre yüksek boyutlu veri kümesi olan otobüs hat verileri modelde çalışırken zaman ve bellek daha optimum düzeyde kullanılmıştır. LSTM ve GRU modellerine ait elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilk iterasyon adımlarında veri ve test setinde öğrenme kaybının hızlı gerçekleştiği ancak belirli bir adım sonrasında öğrenme kaybının aynı seviyede devam ettiği ve öğrenmenin başarılı bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Model-kayıp grafiğinde iterasyon adımı arttığında başarı oranı yükselirken, eğitim süresinin de arttığı dolayısıyla zamandan kayıp yaşandığı saptanmıştır. Sonuç olarak iterasyon adımı belirli bir değerde tutulmalıdır.

B/24 hattına ait tahmin sonuçları bilet tiplerine göre tüm, tam ve öğrenci olmak üzere 3 ayrı sınıfta incelenmiştir. Bu veri setinde tüm bilet tiplerine ait yolcu sayısı toplam 1.656.413, tam bilet tipi yolcu sayısı 899.471 iken, toplam öğrenci bilet tipi sayısı 535.865'tir. Modellerden elde edilen tüm, tam ve öğrenci bilet tiplerine ait en iyi RMSE değerleri sırasıyla 27,749, 18,517 ve 11,418 olarak sonuçlanmıştır. Aynı zamanda bu bilet tiplerine ait MAE değerleri sırasıyla 21,934, 14,569 ve 8,701 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, 100 düğüm sayısı, 200 epoch ve bir katmandan oluşturulan LSTM ve GRU sinir ağı modelleri ile tahmin edilmiştir. Buna göre en iyi tahmin sonucunun LSTM modeli ile öğrenci bilet tipinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak yüksek yolcu sayısına sahip tüm bilet tipinde katman sayısı artırılırsa GRU modelinin başarı oranının artacağı öngörülmektedir.

B/44-B hattına ait tahmin sonuçları bilet tiplerine göre tüm, tam ve öğrenci olmak üzere 3 ayrı sınıfta incelenmiştir. Bu veri setinde tüm bilet tiplerine ait yolcu sayısı toplam 754.736, tam bilet tipi yolcu sayısı 415.179 iken, toplam öğrenci bilet tipi sayısı 217.985'tir. Modellerden elde edilen tüm, tam ve öğrenci bilet tiplerine ait en iyi RMSE değerleri sırasıyla 21,450, 14,305 ve 8,066 olarak sonuçlanmıştır. Aynı zamanda bu bilet tiplerine ait MAE değerleri sırasıyla 15,649, 10,186 ve 5,427 olarak elde edilmiştir. Buna göre en iyi tahmin sonucunun LSTM modeli, 100 düğüm sayısı, 200 epoch değeri ve tek katman ile öğrenci bilet tipinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. LSTM ağında girdi katmanına bir defada eğitim için verilen verinin büyüklüğünün artırılması eğitimin başarı oranına olumsuz etki gösterirken, eğitim süresinden önemli ölçüde kazanç sağlamaktadır. Aynı zamanda, ikinci en iyi değer olan tam bilet tipine ait RMSE değeri GRU modeli ile 200 düğüm, 150 epoch ve üç katman ile elde edilmiştir. Buna göre GRU modelinin tahmin başarı oranının artması için eğitim iterasyon ve yolcu sayısı büyüklüğünün artırılması gerektiği sonucu öngörülmüştür.

4/G hattına ait tahmin sonuçları bilet tiplerine göre tüm, tam ve öğrenci olmak üzere 3 ayrı sınıfta incelenmiştir. Bu veri setinde tüm bilet tiplerine ait yolcu sayısı toplam 747.213, tam bilet tipi yolcu sayısı 231.769 iken, toplam öğrenci bilet tipi sayısı 430.514'tür. Modellerden elde edilen tüm, tam ve öğrenci bilet tiplerine ait en iyi RMSE değerleri sırasıyla 29,957, 11,573 ve 18,015 olarak sonuçlanmıştır. Aynı zamanda bu bilet tiplerine ait MAE değerleri sırasıyla 23,644, 9,031 ve 13,441 olarak elde edilmiştir. Buna göre en iyi tahmin sonucunun LSTM modeli, 200 düğüm sayısı, 150 epoch değeri ve üç katman ile tam bilet tipinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

B/24 ve B/44-B hatlarına ait modeller ile yapılan yolcu sayısı tahminlerinde yolcu sayısının arttığı ve azaldığı zamanlardaki tahmin başarı oranı elde edilen şekillerde görülmektedir. Ancak, 4/G hattında bulunan bilet tiplerine ait yolcu sayısı tahmin başarı oranı diğer hatlarla karşılaştırıldığında düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise 4/G hattında 6 aylık süreçte gerçekleşen toplam 747.213 adet yolculuktan 430.514 adet yolculuğun öğrenci bilet tipinde olması ve öğrenci yolculuk davranışlarının

belirsiz ve tahmin edilemez olmasıdır. Bu durum, tahminleme çalışmalarında yolcu statüsünün önemli olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Bu çalışma Ece Sema Korkmaz'a ait "Kent İçi Yolcu Taşımacılığında Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları" isimli tezden türetilmiştir. Serhat Berat Efe ve İlyas Özer öğrencinin tez danışmanları olup tüm yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP-20-1010-002.

Çalışma kapsamında kullanılan verileri sağladıkları için Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Kaynaklar

Andersen J., and Sutcliffe S. (2000). Intelligent Transport Systems (ITS) - An Overview. *IFAC Proc.* 33(18), 99–106, doi: 10.1016/s1474-6670(17)37129-x.

B. P. A.Ş. (2018). *Bursa Ulaşım Ana Planı Final Raporu 2035*.

Chen, C. M., Liang, C. C., and Chu, C. P. (2020). Long-Term Travel Time Prediction Using Gradient Boosting. *J. Intell. Transp. Syst. Technol. Planning, Oper.*, 24(2), 109–124, doi: 10.1080/15472450.2018.1542304.

Chen, Q. (2014) Global Optimization for Bus Line Timetable Setting Problem. *Discret. Dyn. Nat. Soc.*, 2014, 1-9, doi: 10.1155/2014/636937.

Do, L. N. N., Taherifar, N., and Vu H. L. (2019). Survey of Neural Network-Based Models for Short-Term Traffic State Prediction. *Wiley Interdiscip. Rev. Data Min. Knowl. Discov.*, 9(1), 1–24, doi: 10.1002/widm.1285.

Fonzone, A., Schmöcker, J. D., and Liu, R. (2015). A Model of Bus Bunching under Reliability-based Passenger Arrival Patterns. *Transp. Res. Procedia*, 7, 276–299, doi: 10.1016/j.trpro.2015.06.015.

Gkiotsalitis, K., and Alesiani, F. (2019). Robust Timetable Optimization for Bus Lines Subject to Resource and Regulatory Constraints. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, 128, 30–51, doi: 10.1016/j.tre.2019.05.016.

Gorur, K., Ozer, C.K., Ozer, I., Karaca, A.C., Çetin, O., and Koçak, İ. (2022). Species-Level Microfossil Prediction for Globotruncana genus Using Machine Learning Models. *Arab J Sci Eng.*, <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06822-5>

Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. *Eur. J. Sci. Technol.*, 16, 8–15, doi: 10.31590/ejosat.530347.

Hollander, Y. and Liu, R. (2008). Estimation of the Distribution of Travel Times by Repeated Simulation. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 16(2), 212–231, doi: 10.1016/j.trc.2007.07.005.

Kane, S. N., Mishra, A., and Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *J. Phys. Conf. Ser.*, 755(1), doi: 10.1088/1742-6596/755/1/011001.

Khadhir, A., Anil Kumar, B., and Vanajakshi, L. D. (2021). Analysis of Global Positioning System Used Bus Travel Time Data and Its Use for Advanced Public Transportation System Applications. *J. Intell. Transp. Syst. Technol. Planning, Oper.*, 25(1), 58–76, doi: 10.1080/15472450.2020.1754818.

- Kingma, D. P. and Ba, J. L.** (2015). Adam: A method for stochastic optimization. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*, pp. 1–15.
- Ma Q., Li S., Zhang H., Yuan Y., and Yang L.** (2021). Robust Optimal Predictive Control for Real-Time Bus Regulation Strategy with Passenger Demand Uncertainties in Urban Rapid Transit. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 127, 103086, doi: 10.1016/j.trc.2021.103086.
- Nagy, A. M. and Simon, V.** (2018) Survey on Traffic Prediction in Smart Cities. *Pervasive Mob. Comput.*, 50, 148–163, doi: 10.1016/j.pmcj.2018.07.004.
- Ozbay, H., and Dalcali, A.** (2021). Effects of COVID-19 on electric energy consumption in Turkey and ANN-based short-term forecasting. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 29(1), 78–97. <https://doi.org/10.3906/ELK-2006-29>
- Ozer, I., Efe, S. B., and Ozbay, H.** (2021). CNN / Bi-LSTM-based deep learning algorithm for classification of power quality disturbances by using spectrogram images. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(12), 1–16. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.13204>
- Ozer, I., Efe, S. B., and Ozbay, H.** (2021). A combined deep learning application for short term load forecasting. *Alexandria Engineering Journal*, 60(4), 3807–3818. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.050>
- Ozer, I., Ozer, Z., and Findik, O.** (2017). Lanczos kernel based spectrogram image features for sound classification. *Procedia Computer Science*, 111(2015), 137–144, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.020>
- Ozer, I., Ozer, Z., and Findik, O.** (2018). Noise robust sound event classification with convolutional neural network. *Neurocomputing*, 272, 505–512.
- Ozer, Z., Ozer, I., and Findik, O.** (2018). Diacritic restoration of Turkish tweets with word2vec. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(6), 1120–1127. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.09.002>
- Özkul, M.** (2019). Metin Madenciliği Yöntemi ile Akıllı Ulaşım Sistemleri Algısının Duygu Analizi ile Ölçülmesi. *Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, YL Tezi.
- Tang, J., Yang, Y., Hao, W., Liu, F., and Wang, Y.** (2021). A Data-Driven Timetable Optimization of Urban Bus Line Based on Multi-Objective Genetic Algorithm. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 22(4), 2417–2429, doi: 10.1109/TITS.2020.3025031.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.** (2020). *Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi ve 2020-2023 Eylem Planı*, 15–18.
- Tektaş, M., Korkmaz K., and Erdal H.** (2016). Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği (Ekonomik ve Çevresel Faydaları). *ICOMEPE, International Congress of Management Economy and Policy*, 1–16.
- Tektaş, M., and Tektaş N.** (2019). Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Uygulamalarının Sektörlere Göre Dağılımı. *Akıllı Ulaşım Sist. ve Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 32-41.
- Toncharoen, R. and Piantanakulchai, M.** (2018). Traffic State Prediction Using Convolutional Neural Network. *Proceeding 15th Int. Jt. Conf. Comput. Sci. Softw. Eng. JCSSE*, 2–7, doi: 10.1109/JCSSE.2018.8457359.
- Wang, Y., Zhang, D., Hu, L., Yang, Y., and Lee, L. H.** (2017). A Data-Driven and Optimal Bus Scheduling Model with Time-Dependent Traffic and Demand. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 18(9), 2443–2452, doi: 10.1109/TITS.2016.2644725.
- Watkins, K. E., Ferris, B., Borning, A., Rutherford, G. S., and Layton, D.** (2011). Where Is My Bus? Impact of Mobile Real-Time Information on the Perceived and Actual Wait Time of Transit Riders. *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, 45(8), 839–848, doi: 10.1016/j.tra.2011.06.010.

Araştırma Makalesi

Ülkelerin lojistik performanslarının Entropi tabanlı TOPSIS yöntemine göre sıralanması

Maruf Gögebakan

Denizcilik İşletmeleri Yönetimi Bölümü, Denizcilik Fakültesi, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi,
Bandırma, Türkiye

*Correspondence: mgogebakan@bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1128888

Özet: Günümüz dünyasında ülkeler arasındaki ticaretin artması ve çeşitlenmesi lojistik faaliyetlerini oldukça önemli bir yere taşımaktadır. Ülkeler rekabet gücü ve ekonomik üstünlük elde etmek için lojistik performanslarını etkileyen unsurları belirleyerek performanslarını arttırmaya çalışmaktadır. Lojistik performans değerlendirmelerine göre buldukları sıralamalar uluslararası ticarete ülkelere oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu nedenle, Dünya Bankası iki yılda bir 160 ülkenin Lojistik Performans Endeksini (LPI) hesaplayıp ülkelerin sıralamalarını raporlamaktadır. Bu çalışmada, lojistik performansı etkileyen göstergelerin önem derecesine göre yeniden sıralanması için Entropi tabanlı TOPSIS yöntemine dayalı yeni bir sıralama ve değişken seçim yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntemde değişkenlerin ağırlıklandırılması Entropi yöntemine dayalı belirlenip TOPSIS yöntemi ile sıralama skorlarının belirlenmesi için algoritma kullanılmıştır. Ağırlıklandırılmış değişkenlere göre sıralama yöntemi sonuçlarına dayanarak ülkelerin sıralamalarındaki değişiklikler belirlenmiş ve nedenleri tespit edilmiştir. Değişken seçimi ile ağırlıklandırma ile yapılan sıralamada 65 ülkenin sıralaması yükselirken 76 ülkenin sıralaması düşmüş ve 19 ülkenin sırasında bir değişiklik gözlenmemiştir. Ağırlıklandırma yöntemine göre ülkelerin lojistik performansı üzerindeki en etkili değişken %23 ile altyapı göstergesi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, lojistik performans endeksi, entropi, TOPSIS, değişken seçimi

Ranking of the logistic performances of the countries according to the Entropy-based TOPSIS method and variable selection

Abstract: In today's world, the increase in trade between countries carries logistics activities to a very important place. Countries are trying to increase their performance by determining the factors affecting their logistics performance in order to gain competitive power and economic advantage. Ranking according to logistics performance evaluations provides significant advantages to countries in international trade. For this reason, the World Bank calculates the Logistics Performance Index (LPI) of 160 countries every two years and reports the rankings of the countries. In this study, a new ranking and variable selection approach based on the Entropy-based TOPSIS method is proposed to reorder the indicators affecting logistics performance according to their importance. In the proposed method, the weighting of the variables was determined based on the Entropy method, and the algorithm was used to determine the ranking scores with the TOPSIS method. Based on the results of the ranking method according to the weighted variables, the changes in the rankings of the countries were determined and the reasons were determined. In the ranking made by variable selection and weighting, the ranking of 65 countries increased, while the ranking of 76 countries decreased and no change was observed in the order of 19 countries. According to the weighting method, the most influential variable on the logistics performance of the countries was the infrastructure indicator with 23%.

Key words: Logistics, logistics performance index, entropy, TOPSIS, variable selection

* Corresponding author.

E-mail address: mgogebakan@bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0447-8311 (in hierarchical order)

Received 10.06.2022; accepted 23.08.2022

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Ülkelerin lojistik performanslarının belirlenmesi ekonomik ve sosyal yapılarını önemli ölçüde öngörülebilir kılmaktadır. Gelişen ve büyüyen lojistik ekosisteminde her bir ülkenin lojistik avantaj ve dezavantajlarını belirlemesi o ülkeyi rekabet edebilir hale getirmektedir (Chow et al, 1994). Lojistik performans endeksi (LPI), ülkeler arasında rekabete dayalı ticaretin gelişmesi amacıyla Dünya Bankası tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu endekste; Gümrük, altyapı, uluslararası gönderiler, lojistik hizmet kalitesi, gönderilerin izlenme ve takibi, gönderilen ürünlerin zamanında teslimi alt göstergelerine dayalı performans ölçümü yapılabilmektedir (Dünya Bankası, 2022).

Ülkelerin lojistik göstergelerinde olduğu gibi çoklu kriterler arasında en optimum göstergeye dayalı ülke performansını belirlemek için İstatistiksel yöntemler kullanılmaktadır (Caplice and Sheffi, 1995) Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to İdeal Solution) ile Ülkelerin Lojistik performanslarını etkileyen faktörler belirlenebilmektedir (Oğuz vd, 2019). Lojistik göstergeler arasındaki farklılıkları baz alan Entropi yöntemine dayalı ağırlıklandırma ile çok kriterli karar verme modeli ülkelerin lojistik performanslarını sıralamada bütünlük bir model olarak kullanılabilir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde optimum çözüme ulaşabilmek için seçim yapılacak kriterlerin önceliğinin belirlenmesi farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu istatistiksel yöntemler farklı yaklaşımlarla her bir değişkene ağırlıklar atamaktadır. Bu ağırlıklandırma yöntemi eşit ağırlıklandırma, olasılıksal veya deterministik ağırlıklandırma olarak belirlenen ağırlıkları atama yapma şeklinde hangi değişkenin daha etkin olduğunu belirlemeye çalışmaktadır (Dos Santos et al, 2019).

Biyodizel hammadde seçim stratejilerinin sürdürülebilirliği ile ilgi çalışmada TOPSİS ve karar matrisinin seçim kriteri için ağırlıklandırmada farklı birkaç yöntem kullanılmıştır. Çalışmada Hammaddelerin kimyasal, asidik özellikleri ve biyodizel maliyetleri gibi on beş değişkene dayalı sıralama ölçüsü olarak TOPSİS kullanılmıştır. Değişkenlerin değerlerine göre kriterlerin ağırlıklandırılması için Entropi, AHP ve FAHP gibi yöntemler kullanılmıştır (Anwar, 2021).

Hata Türleri ve Etki Analizi için çok kriterli karar yöntemlerine dayalı bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Risk kriterleri için Entropi, Critic ve PSI yöntemlerinden elde edilen ağırlık katsayılarının geometrik ortalaması ile yeni bir ağırlıklandırma yöntemi geliştirilmiştir. Elde edilen yeni ağırlıklar ile değişkenler üzerinde Etki analizi yapılmıştır (Uslu vd, 2022)

Dünyadaki 81 ülkeye ait üniversitelerinin performanslarının karşılaştırılması için ağırlıklandırma yöntemi olarak Critic ve Entropi yöntemleri ile Topsis, Maut, Saw ve Aras gibi Yöntemlere dayalı çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde ağırlıklandırma yöntemleri ile sıralamada kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden bütünlük bir yöntem elde edilmiştir (Parlar ve Palancı, 2020).

Başka bir Kriter ağırlıklandırma ile karar analizi için bütünlük çalışmada akılla saat markalarının kullanıcı tercihiyle dayalı belirlenmesi üzerine yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde ağırlıklandırma için Critic ve karar yöntemi için Maut kullanılmıştır (Bulğurcu, 2019).

Lojistik performansların değerlendirilmesi ve ülkelerin lojistik performanslarının sıralanması için eşit ağırlıklandırma yöntemine dayalı TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. Yedi Asya ülkesinin Lojistik Performans Endeksinin 6 farklı göstergeye göre belirlenmesinde TOPSİS yöntemi ile elde edilen bulgularda Singapur'un performansının en iyi olduğu gösterilmiştir (Oğuz vd, 2019).

Türkiye'nin coğrafi bölgelerinin lojistik performanslarının belirlenmeye çalışıldığı bütünlük karar verme çalışmasında AHP ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş ve TOPSİS ile kriterler arasından optimum çözüm elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ağırlıklandırılmış lojistik performansı en yüksek bölge Marmara Bölgesi olurken en düşük performans sergileyen doğu Anadolu Bölgesi olmuştur (Gergin, 2014).

Küme sayısının belirlenmesinde bilgi kriterlerinden kaynaklı hatayı en aza indirmek için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden TOPSİS kullanılmıştır. TOPSİS yöntemi ile bilgi kriterlerinden karar matrisi elde edilerek küme sayısı belirlemede modele dayalı yöntemler kullanılmıştır (Akoğul vd, 2020).

Önerilen yeni sıralama ve gösterge (değişken) seçimi için ağırlıklandırma yaklaşımında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi uygulanmıştır. ÇKKV yöntemlerinden verilerin yapısına ve değişken sayısına göre optimum çözüme en yakın yaklaşım TOPSIS yöntemi ile elde edilmektedir. TOPSIS yönteminin tek sübjektif yanı ağırlıklandırma matrisinin oluşturulmasıdır. Bu matris oluşturulurken farklı yöntemlerle ağırlık hesaplamaları yapılmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan ve göstergeler (değişkenler) arasındaki farklara göre hassasiyet gösteren Entropi yöntemidir (Li et al, 2021).

Bu çalışmada, Dünya Bankasının 160 ülkenin lojistik performanslarını belirlemek amacıyla oluşturduğu 2022 yılı LPI verilerine dayalı Entropi ve TOPSIS yöntemi ile sıralanması ve alt göstergelerin (değişkenlerin) önem derecelerine göre belirlenmesi amaçlanmıştır. Dünya Bankasının lojistik performansı ölçmek amacıyla belirlediği 6 göstergeye (değişkene) göre belirlediği sıralamaya alternatif olarak değişken ağırlıklı sıralama önerilmiştir. Bu amaçla Entropi ve TOPSIS yöntemine dayalı LPI verilerine göre ülkeler yeniden sıralanmış ve göstergelere göre ülkelerin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. TOPSIS ve Entropi yöntemlerinde matrislerin oluşturulması korelasyon hesabı ve ağırlıklandırma için istatistiksel hesaplamalarda R paket programı kullanılmıştır

2. Veri seti ve yöntem

Gümrük, Altyapı, Uluslararası gönderiler, Lojistik hizmet kalitesi, İzleme ve takip, Zamanında İletim (Teslim) olmak üzere Dünya Bankası tarafından 2 yılda bir olmak üzere 6 alt gösterge ile 160 ülkenin lojistik performansları değerlendirilmektedir. Lojistik Performansın alt göstergeleri, lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletme ve kurumların katıldığı uluslararası bir ankete dayanarak belirlenmektedir. Anket ölçeği, lojistiğin farklı alanlarında görev yapan 800'den fazla profesyonelin katkılarıyla hazırlanmış olup ve katılımcılardan en çok ilişkide buldukları ülkeleri puanlamaları istemiştir. Elde edilen veriler temel bileşenler analizi ile altı alt göstergeye indirgenmiş ve her bir alt gösterge 1-5 arasında puanlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda yüksek puan iyi performansı yansıtmakta olup puanların aritmetik ortalaması alınarak LPI hesaplanmıştır (Martı, Martin, & Puertas, 2017). Bu çalışmada sıralama için Dünya Bankasının LPI verileri kullanılmıştır.

2.1. Entropi ağırlıklandırma yöntemi

Entropi, Shannon tarafından sistem içindeki düzensizliği analitik olarak ölçmek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir (Shannon, 1948). Sistemdeki düzensizlik ile Entropi arasında pozitif yönlü korelasyon bulunmaktadır. Sistemin Bilgi Entropisi teorisine göre, çok kriterli sistemlerin optimum çözümünün doğruluğu ve güvenilirliği kaliteli ve doğru bilgiye dayalıdır. Karar verme sürecinde bilginin yeterliliği ve kalitesi, karar verme probleminin güvenilirliğini ve doğruluğunu belirleyen faktörlerden biridir (Wu et al, 2011).

Entropi yöntemini kullanan ağırlıklandırma algoritmasının basamakları aşağıdaki gibi elde edilmektedir

1. Karar matrisindeki elemanlar normalleştirilerek $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$ değerleri ile $R = [r_{ij}]_{m \times n}$ normalleştirilmiş matris elde edilir.
2. Normalleştirilmiş kriterlerden Entropi değeri $e_j = -h \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij})$ denklemi yardımıyla elde edilir. Burada $j = 1, \dots, n$ ve m alternatif kriter sayısını göstermek üzere Entropi sabiti alternatif kriter sayısından $h = \frac{1}{\ln(m)}$ şeklinde hesaplanır.
3. Entropi için ağırlık vektörü $w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$ şeklinde Entropi değerlerinden hesaplanır. Burada $d_j = 1 - e_j$ Entropideki bilginin farklılaşması olarak adlandırılmaktadır. d_j değerlerinin büyüklüğü kriterlere karşılık gelen alternatifler arasındaki farkın küçüklüğü ile ölçülmektedir.

2.2. TOPSIS yöntemi

LPI veri setinin her bir değişkeninden elde edilen verilerin optimize edilmesinde çok değişkenli kriter belirleme metodu olan TOPSIS kullanılmıştır (Hwang and Yoon, 1981; Chang, 2015). TOPSIS kriterler

arasından en iyi alternatifin belirlenerek ideale en yakın negatif ideale ise en uzak çözümün belirlenmesinde kullanılmaktadır (Tzeng and Huang, 2011).

Çok değişkenli veriden ideal çözüm elde etmek için TOPSIS yöntemi için geliştirilen algoritmanın altı basamağı aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

1. **Karar matrisi:** Veri setinden elde edilen $m \times n$ boyutlu, n adet belirleme ve m adet alternatif kriterden meydana gelen karar matrisi

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$
 şeklinde oluşturulmaktadır. $D = [x_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilir. Burada $i = 1, \dots, m$ ve $j = 1, \dots, n$ olmak üzere d_{ij} elemanı i . alternatif kriterinin j . belirleme kriterine göre önem seviyesini göstermektedir.

2. **Normalize karar matrisi:** D karar matrisinin elemanlarından $r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ eşitliğine göre elde edilen her bir r_{ij} elemanlarının oluşturduğu Normalize karar matris $N = [r_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilir.

3. **Ağırlıklandırılmış Normalize matris:** Normalize matrisin her bir r_{ij} elemanı $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olacak şekilde w_j olasılık ağırlığı ile çarpılarak teki her bir eleman belirlenen bir yöntem ile hesaplanan $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olacak şekilde w_j bileşen karma olasılık ağırlığı ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matrisin $v_{ij} = w_j r_{ij}$ elemanları elde edilir. $V = [v_{ij}]_{m \times n}$ ağırlıklandırılmış normalize matrisinde olasılık ağırlıkları Entropi yöntemi ile elde edilmiştir.

4. **İdeal ve negatif ideal çözümler:** Ağırlıklandırılmış normalize matrisin (V) sütunlarındaki belirleme kriterlerinden elde edilen değerler optimizasyon (minimizasyon) için kullanılır. Matrisin sütunlardaki minimum değerli elemanlar $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_k^+\}$ ideal çözümleri, maksimum değerli elemanlar ise $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_k^-\}$ negatif ideal çözümleri oluşturacak şekilde belirlenir. Eğer problemin çözümünde maksimizasyon yaklaşımı kullanılacak ise ideal ve negatif ideal elemanları tam tersi olarak belirlenir.

5. **İdeal ve negatif ideal ayırım ölçüleri:** İdeal ve negatif ideal noktalara olan uzaklıklar Öklid uzaklığı ile elde edilir. S_i^+ ve S_i^- ölçülerinin sayısı alternatif elemanların sayısına eşit olacak şekilde $S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$ ideal ayırım ve $S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$ negatif ideal ayırım ölçüleri olarak hesaplanır.

6. **İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması:** İdeal ve negatif ideal ayırım ölçüleri kullanılarak alternatifler için ideal çözüme göreli yakınlık değeri $C_i^+ = S_i^- / (S_i^- + S_i^+)$ olacak şekilde hesaplanır. Burada $0 \leq C_i^+ \leq 1$ olacak şekilde $C_i^+ = 1$ alternatifin ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

3. Bulgular

160 ülkenin Entropi ile ağırlıklandırma ve TOPSIS ile sıralama yöntemi LPI verilerine uygulanmış ve ülkelere ait yeni sıralamalar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan veri setinde 160 ülke bulunmasından dolayı Entropi ve TOPSIS matrislerinde bulunan tüm ülkelerin değerlerini temsilen ilk 10 ülke ve son 3 ülkenin değerlerine yer verilmiştir. Dünya Bankasının 160 ülkenin lojistik performanslarını belirlediği 6 gösterge CUST=Gümrük, INF= Altyapı, INTSHIP= Uluslararası gönderiler, LOGCOM=Lojistik hizmet kalitesi, TRACTRACE= İzleme ve takip ve TIME= Zamanında İletim olarak matrislere işlenmiştir. Ülkelerin lojistik performanslarının değerlendirildiği 6 göstergeye ait veriler karar matrisinde Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Ülkelerin 6 göstergeye göre skorları ve sıralamalarını gösteren Karar Matrisi

Ülkeler/Göstergeler	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time
1 Almanya	4,09	4,37	3,86	4,31	4,24	4,39
2 İsveç	4,05	4,24	3,92	3,98	3,88	4,28
3 Belçika	3,66	3,98	3,99	4,13	4,05	4,41
4 Avusturya	3,71	4,18	3,88	4,08	4,09	4,25
5 Japan	3,99	4,25	3,59	4,09	4,05	4,25
6 Hollanda	3,92	4,21	3,68	4,09	4,02	4,25
7 Singapur	3,89	4,06	3,58	4,1	4,08	4,32
8 Danimarka	3,92	3,96	3,53	4,01	4,18	4,41
9 Birleşik Krallık	3,77	4,03	3,67	4,05	4,11	4,33
10 Finlandiya	3,82	4	3,56	3,89	4,32	4,28
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158 Burundi	1,69	1,95	2,21	2,33	2,01	2,17
159 Angola	1,57	1,86	2,2	2	2	2,59
160 Afganistan	1,73	1,81	2,1	1,92	1,7	2,38

Çok kriterli karar verme yöntemlerindeki kriterlerin alternatiflerinin belirlenmesinde hangi değişken veya kriterin daha etkin olduğu önemli bir göstergedir. Bu nedenle kriterleri yapılacak olan seçimlere göre ağırlıklandırmak oldukça önemli ve sonuçlar üzerinde etkilidir. Bu nedenle değişkenlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kriterler arasındaki farkın dikkate alınarak hesaplandığı Entropi yöntemi kullanılmıştır. Lojistik göstergelerin değerlerinin bulunduğu karar matrisi Entropi yönteminin 1. adımındaki gibi normalleştirilmiş ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ülkelerin gösterge skorları kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi

Ülkeler/Göstergeler	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time
1 Almanya	0,009563	0,010031	0,008525	0,009566	0,009134191	0,008478
2 İsveç	0,009469	0,009733	0,008657	0,008834	0,008358646	0,008265
3 Belçika	0,008557	0,009136	0,008812	0,009167	0,008724876	0,008516
4 Avusturya	0,008674	0,009595	0,008569	0,009056	0,008811047	0,008207
5 Japan	0,009329	0,009756	0,007929	0,009078	0,008724876	0,008207
6 Hollanda	0,009165	0,009664	0,008127	0,009078	0,008660247	0,008207
7 Singapur	0,009095	0,009319	0,007907	0,0091	0,008789504	0,008342
8 Danimarka	0,009165	0,00909	0,007796	0,0089	0,009004933	0,008516
9 Birleşik Krallık	0,008814	0,009251	0,008105	0,008989	0,008854133	0,008362
10 Finlandiya	0,008931	0,009182	0,007862	0,008634	0,009306534	0,008265
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158 Burundi	0,003951	0,004476	0,004881	0,005172	0,004330123	0,00419
159 Angola	0,003671	0,004269	0,004859	0,004439	0,004308581	0,005002
160 Afganistan	0,004045	0,004155	0,004638	0,004262	0,003662293	0,004596

Normalleştirilmiş karar matrisinden Entropi yönteminin 2. adımındaki gibi gösterge skorlarından Entropi değerleri elde edilmiş ve Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ülkelerin gösterge skorlarından elde edilen Entropi değerleri

Ülkeler/Göstergeler	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time	
1	Almanya	-0,04446	-0,04616	-0,04062	-0,04448	-0,0428917	-0,04044
2	İsveç	-0,04412	-0,04508	-0,04112	-0,04178	-0,039991599	-0,03964
3	Belçika	-0,04074	-0,0429	-0,0417	-0,04301	-0,04136967	-0,04059
4	Avusturya	-0,04118	-0,04458	-0,04079	-0,0426	-0,041691664	-0,03942
5	Japan	-0,04361	-0,04517	-0,03835	-0,04268	-0,04136967	-0,03942
6	Hollanda	-0,04301	-0,04483	-0,03911	-0,04268	-0,041127617	-0,03942
7	Singapur	-0,04275	-0,04357	-0,03827	-0,04277	-0,041611245	-0,03993
8	Danimarka	-0,04301	-0,04273	-0,03784	-0,04202	-0,04241308	-0,04059
9	Birleşik Krallık	-0,0417	-0,04332	-0,03903	-0,04235	-0,041852344	-0,04
10	Finlandiya	-0,04214	-0,04307	-0,0381	-0,04103	-0,043527018	-0,03964
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
158	Burundi	-0,02187	-0,02421	-0,02598	-0,02723	-0,023565221	-0,02294
159	Angola	-0,02058	-0,0233	-0,02588	-0,02405	-0,023469471	-0,0265
160	Afganistan	-0,02229	-0,02278	-0,02492	-0,02326	-0,020544242	-0,02474

Entropi değerlerine göre her bir göstergenin kriterleri arasındaki farkı elde edilmiş ve bu fark değeri ile göstergelerin ağırlıkları Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Ülkelerin göstergelerine ait Entropi, bilgi farkı ve ağırlık skorları

	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time
ej	0,995555	0,994225	0,996787	0,995552	0,995706932	0,996918
dj	0,004445	0,005775	0,003213	0,004448	0,004293068	0,003082
wj	0,175986	0,22867	0,127209	0,176126	0,169987603	0,122021

Entropi yöntemi ile LPI veri seti üzerinde 6 göstergenin ağırlıkları belirlenmiş ve en etkili değişkenin 0.228 ile altyapı değişkeni olduğu görülmüştür. Lojistik performansı etkileyen göstergelerin önemini belirlemek üzere yapılan istatistiksel çalışmalarda altyapı değişkeninin en önemli değişken olduğunu görülmektedir (Akdamar ve ark. 2021). Ülkelerin lojistik performanslarını artırmaları altyapıya verecekleri önemle daha hızlı bir şekilde artacağı öngörülmüştür.

Entropi yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılarak Karar matrisinden optimum çözüme ulaşmak ve ülkelerin sıralamalarının belirlenmesi için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. TOPSIS yöntemi de Entropi gibi değişken değerlerinin bulunduğu karar matrisini kullanmaktadır. TOPSIS yönteminin 2. adımındaki gibi gösterge skorları normleştirilerek normleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir. Normleştirilmiş karar matrisi Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5. Ülkelerin gösterge skorlarından elde edilen normleştirilmiş karar matrisi

Ülkeler/Göstergeler	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time	
1	Almanya	0,118243	0,123186	0,106099	0,118272	0,113058366	0,105587
2	İsveç	0,117087	0,119521	0,107748	0,109216	0,103459071	0,102942
3	Belçika	0,105812	0,112192	0,109672	0,113332	0,107992071	0,106068
4	Avusturya	0,107257	0,11783	0,106649	0,11196	0,10905866	0,10222
5	Japan	0,115352	0,119803	0,098677	0,112235	0,107992071	0,10222
6	Hollanda	0,113328	0,118675	0,101151	0,112235	0,10719213	0,10222
7	Singapur	0,112461	0,114447	0,098403	0,112509	0,108792013	0,103904
8	Danimarka	0,113328	0,111628	0,097028	0,110039	0,111458483	0,106068
9	Birleşik Krallık	0,108992	0,113601	0,100876	0,111137	0,109591954	0,104144
10	Finlandiya	0,110437	0,112756	0,097853	0,106746	0,115191543	0,102942
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158	Burundi	0,048858	0,054968	0,060746	0,063938	0,053596065	0,052192
159	Angola	0,045389	0,052431	0,060471	0,054882	0,053329418	0,062294
160	Afganistan	0,050015	0,051022	0,057722	0,052687	0,045330005	0,057243

Lojistik performans verilerindeki göstergelerin normleştirilmiş değerleri TOPSIS yönteminin 3. adımındaki gibi Entropi ile elde edilen ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmiştir. Ağırlıklandırılmış karar matrisi Tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6. Entropi ağırlıkları ile elde edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi

Ülkeler/Göstergeler	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time	
1	Almanya	0,020809	0,028169	0,013497	0,020831	0,019219	0,012884
2	İsveç	0,020606	0,027331	0,013707	0,019236	0,017587	0,012561
3	Belçika	0,018621	0,025655	0,013951	0,019961	0,018357	0,012943
4	Avusturya	0,018876	0,026944	0,013567	0,019719	0,018539	0,012473
5	Japan	0,0203	0,027395	0,012553	0,019767	0,018357	0,012473
6	Hollanda	0,019944	0,027137	0,012867	0,019767	0,018221	0,012473
7	Singapur	0,019792	0,026171	0,012518	0,019816	0,018493	0,012678
8	Danimarka	0,019944	0,025526	0,012343	0,019381	0,018947	0,012943
9	Birleşik Krallık	0,019181	0,025977	0,012832	0,019574	0,018629	0,012708
10	Finlandiya	0,019435	0,025784	0,012448	0,018801	0,019581	0,012561
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158	Burundi	0,008598	0,01257	0,007727	0,011261	0,009111	0,006369
159	Angola	0,007988	0,011989	0,007692	0,009666	0,009065	0,007601
160	Afganistan	0,008802	0,011667	0,007343	0,00928	0,007706	0,006985

Ağırlıklandırılmış karar matrisinin sütunlarındaki değerler ile ideal ve negatif ideal değerleri belirlenmiştir. Bu değerler karar matrisinin kriterleri ve alternatifleri için optimizasyon değerleridir. Ülkelerin göstergelerine ait ideal ve negatif ideal değerleri Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Ülkelerin göstergelerine ait ideal ve negatif ideal çözüm skorları

	Cust	Inf	Intship	Logcom	Tractrace	Time
V+	0,020809	0,028169	0,013951	0,020831	0,019581	0,012943
V-	0,007988	0,010056	0,006294	0,009086	0,007434	0,005987

Karar matrisindeki kriterler yani ülkelerin lojistik performanslarını belirleyen 6 gösterge sıralanışa pozitif ideal yani fayda kriteri olarak yansımıştır. Ülke göstergelerinin ideal ve negatif ideal skorlarından ideal çözüme yakınlık değerleri TOPSIS yönteminin 5. adımındaki gibi hesaplanmış ve bu Öklid uzaklıklarına göre hesaplanan uzaklıklar ideal çözüme göreli yakınlıklar ve yeni ülke puanları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Ülkelerin ideal çözüme göreli yakınlık skorları ve yeni ülke puanları

Ülkeler/Göstergeler	S+	S-	P	
1	Almanya	0,000584426	0,029474	0,980557
2	İsveç	0,002733206	0,027603	0,909902
3	Belçika	0,003655225	0,026477	0,878692
4	Avusturya	0,002815819	0,027113	0,905916
5	Japan	0,002379528	0,027693	0,920874
6	Hollanda	0,002487336	0,027395	0,916762
7	Singapur	0,003060541	0,026832	0,897616
8	Danimarka	0,003581165	0,026567	0,881213
9	Birleşik Krallık	0,003353522	0,026496	0,887653
10	Finlandiya	0,003755264	0,026485	0,875818
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158	Burundi	0,025992303	0,004054	0,134929
159	Angola	0,027001639	0,003362	0,110712
160	Afganistan	0,027750743	0,002338	0,077708

Ülkelerin Entropi ile gösterge ağırlıklarının belirlenmesine dayalı TOPSIS ile yeniden sıralanması için elde edilen ülke puanlarına göre yeniden skorlar elde edilmiş ve Tablo 9’da gösterilmiştir. Tabloda LPI verisi sıralama skoru, Entropiye dayalı TOPSIS skoru (E+T), LPI verisine göre sıralamaları (LPI_R) ve Entropi-TOPSIS yöntemine dayalı sıralamaları (E+T_R) olarak gösterilmiştir.

Tablo 9. Ülkelerin LPI, Entropi-TOPSIS skorları, LPI ve Entropi-TOPSIS sıralamaları

Ülkeler/Göstergeler	LPI	E+T	LPI_R	E+T_R	
1	Almanya	4,2	0,980557	1	1
2	İsveç	4,05	0,909902	2	4
3	Belçika	4,04	0,878692	3	9
4	Avusturya	4,03	0,905916	4	5
5	Japan	4,03	0,920874	5	2
6	Hollanda	4,02	0,916762	6	3
7	Singapur	4	0,897616	7	6
8	Danimarka	3,99	0,881213	8	8
9	Birleşik Krallık	3,99	0,887653	9	7
10	Finlandiya	3,97	0,875818	10	10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
158	Burundi	2,06	0,134929	158	157
159	Angola	2,05	0,110712	159	159
160	Afganistan	1,95	0,077708	160	160

Ülkelerin LPI sıralamaları ve Entropi-TOPSIS sıralamaları arasında Spearman korelasyon analizi ile sıralama karşılaştırılması yapılmıştır. Spearman korelasyon katsayısı 0.996 değeri ile %99 uyumlu çıkmıştır. Spearman test istatistikleri Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. Spearman test istatistikleri

	LPI R	E+T R
LPI R	1	0,9965*
E+T R	0,9965*	1

*Spearman korelasyon katsayısı $\alpha=0,01$ için anlamlı.

4. Sonuç ve tartışma

Ülkelerin ticari ilişkilerinde sadece fiyat rekabetine dayalı performanslarının değerlendirilmesi günümüz koşullarında çok yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ülkelerin konumu, belirledikleri strateji ve lojistik yaklaşımları performanslarını oldukça etkilemektedir. Gelişen ülkeler arası ticaret ve zorlu rekabet koşullarında ülkelerin birbirlerine göre ticari konumlarını bilmeleri güçlü ve zayıf yanlarını belirlemelerinde oldukça kilit rol oynamaktadır. Ülkelerin lojistik altyapı ve zamanında gönderi göstergelerindeki iyileştirmeler rekabet gücü ve ekonomik gelişmeye katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada; Dünya Bankası tarafından lojistik performansları ölçülen 160 ülkenin 2022 LPI verileri kullanılmıştır. Ülkelerin lojistik performanslarını etkileyen kriterlerin önem derecesi Entropi yöntemi ile belirlenip TOPSIS yöntemine göre sıralamaları yeniden elde edilmiştir. Ülkelerin lojistik performanslarını arttırmaları için hangi göstergede ne durumda olduklarını belirleyebilmeleri sıralamalarının iyileşmesinde önemlidir. Bu nedenle Entropi ile değişkenlerin ağırlıklandırılması ve önemli göstergelerin öne çıkarılması performans iyileştirilmesinde kilit rol oynamaktadır.

Lojistik performansları değerlendirilen 160 ülkenin, gümrük, altyapı, uluslararası gönderiler, lojistik hizmet kalitesi, izleme ve takip, zamanında İletim göstergelerine göre Entropi ile değişken seçimi yapıldığında en etkili değişken altyapı olarak belirlenmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak ülkelerin lojistik altyapılarına yaptıkları 1 birimlik iyileştirme ile lojistik performanslarını yaklaşık olarak %23 arttıracakları görülmüştür. Entropi ağırlıklandırma sonuçlarına göre diğer etkili göstergeler sırasıyla, lojistik hizmet kalitesi ve gümrük (iki değişken çok yakın ağırlığa sahiptir), izleme ve takip, uluslararası gönderiler ve en az etkiye sahip gösterge zamanında iletim değişkenidir.

Lojistik performans endeksine göre ilk 10 ülkenin Entropi ağırlıklı TOSIS ile yeniden sıralamalarına bakıldığında Japonya ve Hollanda’nın 3 sıra yükseldiği ve Belçika’nın 6 sıra gerilediği görülmüştür. Danimarka ve Almanya’nın sıralamalarında bir değişiklik gözlenmezken Birleşik Krallık 2, Singapur 1 sıra yükselmiş aynı zamanda Avusturya 1, İsveç 2 sıra gerilemiştir. Ülkelerin geneline bakıldığında 76 ülkenin sıralamaları gerilerken 65 ülkenin sıralaması artmış ve 19 ülkenin sıralamasında bir değişiklik gözlenmemiştir.

Bu sıralamada ülkelerin önemli olan göstergelerdeki iyileştirmeleri ile sıralamalarının yükseldiği ve bazı göstergelere göre dezavantajlı ülkelerin ise sıralamalarının düştüğü görülmüştür. Lojistik altyapısı güçlü olan ülkelerin sıralamalarının arttığı aynı zamanda altyapı iyileştirilmesi gereken ülkelerin ise sıralamalarında düşüş gözlemlenmiştir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Çalışmadaki tüm katkı yazara aittir.

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

- Chow, G., Heaver, T. D., & Henriksson, L. E.** (1994). Logistics performance: Definition and measurement. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 24(1), 17-28.
- World Bank,** (2022). *International LPI – Global rankings 2022*. Accessed: 2 June 2022, <https://lpi.worldbank.org/international/global/2022>.
- Caplice, C., & Sheffi, Y.** (1995). A review and evaluation of logistics performance measurement systems. *The International Journal of Logistics Management*, 6(1), 61-74.
- Oğuz, S., Alkan, G., & Yılmaz, B.** (2019). Seçilmiş Asya ülkelerinin lojistik performanslarının TOPSİS yöntemi ile değerlendirilmesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, (Özel Sayı)*, 497, 507.
- Dos Santos, B. M., Godoy, L. P., & Campos, L. M.** (2019). Performance evaluation of green suppliers using entropy-TOPSIS-F. *Journal of cleaner production*, 207, 498-509.
- Anwar, M.** (2021). Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic, technical, and sustainable aspects. *Fuel*, 283, 119204.
- Uslu, T., Can, G.F., & Delice E.K.** (2022). Çok boyutlu yeni bir süreç tipi HTEA yaklaşımı: Savunma ve havacılık sanayi uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(3), 1411-1426.
- Parlar, G., ve Palancı, O.** (2020). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Dünya Üniversitelerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 11(26), 203-227.
- Bulğurcu, B.** (2019). Çok nitelikli fayda teorisi ile CRITIC yöntem entegrasyonu: Akıllı teknoloji tercih örneği. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13(19), 1930-1957.
- Oğuz, S., Alkan, G., & Yılmaz, B.** (2019). Seçilmiş Asya ülkelerinin lojistik performanslarının TOPSİS yöntemi ile değerlendirilmesi. *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, (Özel Sayı)*, 497, 507.
- Gergin, R. E.** (2014). *Türkiye'deki bölgelerin lojistik performanslarının bütünleştirilmiş AHS ve TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Akoğul, S., Erişoğlu, M., & Erişoğlu, Ü.** (2020). Çok Değişkenli Normal Dağılımların Karmasına Dayalı Kümelemede TOPSIS Yöntemiyle ile Küme Sayısının Belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 472-480.
- Li, H., Huang, J., Hu, Y., Wang, S., Liu, J., & Yang, L.** (2021). A new TMY generation method based on the entropy-based TOPSIS theory for different climatic zones in China. *Energy*, 231, 120723.
- Martí, L., Martín, J. C., & Puertas, R.** (2017). A Dea-Logistics Performance Index. *Journal of Applied Economics*, XX(1), 169-192.
- Shannon, C. E.** (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Wu, J., Sun, J., Liang, L., & Zha, Y.** (2011). Determination of weights for ultimate cross efficiency using Shannon entropy. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5162-5165.
- Hwang CL, Yoon K.** (1981) Multiple attribute decision making: methods and applications. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.
- Chang K., A** (2015) novel general risk assessment method using the soft TOPSIS approach, *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32 (6), 408-421.

Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. CRC press.

Akdamar, E., Gogebakan, M. & Kılıç, A., (2021). Lojistik Göstergelere Göre Ülkelerin İnsani Gelişmişlik Sınıflarının Tahmini, *KUTLU H.A, KARABACAK E.,(Ed. 's) Uluslararası Ticaret Ve Lojistikte Güncel Yaklaşımlar Ve Değerlendirmeler 2, (s. 115-128), ISBN: 978-625-8418-08-8 İstanbul Efe Kitap evi*

Araştırma Makalesi

Trafik simülasyon yazılımlarına genel bakış

Sinem Akkaya^{1*}, Taylan Engin¹

¹Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies, Bandirma Onyedi Eylul University, Bandirma, Turkey

*Correspondence: sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1090209

Özet: Bu çalışma, günümüzde araç sayısının artmasına bağlı olarak meydana gelen trafik yoğunluğu durumunu değerlendirmek ve modellemek için kullanılan trafik simülasyon yazılımları arasından seçilen bir grup programın (SUMO, Quadstone Paramics Modeller, Aimsun, Trafficware SimTraffic, CORSIM TRAFVU, PTV Vissim) genel özelliklerini incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Trafik simülasyonu, ulaşım ağlarının ve sistemlerinin trafik modellemesi, planlaması ve geliştirilmesi araştırmalarında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Makroskopik, mezoskopik mikroskopik ve nanoskopik olarak dört kategoride incelenirler. Bazıları sadece bir kategori özelliğine sahipken bazıları da hibrit sistemlerdir. Ulaşım sistemleri ve bunların ürettiği sorunlar, küresel olarak artan bir ilgi ve endişe kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Karmaşık trafik sistemlerinin modellenmesi ve oluşan karmaşanın çözümünün oluşturulması zor bir problemdir. Gerçek hayatta yapılacak denemeler, pratik ve kısa zamanlı olmamaktadır. Trafik simülasyon yazılımları uygulama açısından oldukça pratik ve daha kısa zamanlı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte öngörülen uygulamaların simülasyon ortamında denemesi ve taşıt trafiğine uyarlanması çok daha çabuk olmaktadır. Dolayısıyla oluşan karmaşanın veya sıkışıklığın daha kısa zamanda çözülmesi hem mali açıdan hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır.

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

Traffic simulation software overview

Abstract: This study has been prepared to examine the general features of a group of traffic simulation software (SUMO, Quadstone Paramics Models, Aimsun, Trafficware SimTraffic, CORSIM TRAFVU, PTV Vissim) used to evaluate and model the traffic density situation due to the increase in the number of vehicles today. Traffic computer simulation is a widely used method in traffic modeling, planning and development research of traffic networks and systems. They are examined in four categories as microscopic, macroscopic, mesoscopic and nanoscopic. Some have only one category feature, while others are integrated systems. Vehicle traffic systems and the problems they produce stand out as a source of increasing interest and concern globally. Modeling complex traffic systems and solving the resulting complexity is a difficult problem. Experiments in real life will not be practical and in short-term. Traffic simulation software is very practical and less time-consuming in terms of implementation. However, it is much quicker to test the foreseen applications in the simulation environment and adapt them to the vehicle traffic. Therefore, solving the confusion or congestion in a shorter time saves both time and money.

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

* Corresponding author.

E-mail address: sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID: 0000-0002-1233-4724; 0000-0001-6981-0683 (in hierarchical order)

Received 19.03.2022; accepted 20.09.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Trafik simülasyonu, farklı bilim dallarında giderek daha popüler hale gelen bir analiz yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanda çalışan uzmanlar, bilgisayar yardımı ile yapay deney ortamlarını canlandırarak farklı bilimsel problemlerin çözümünü aramaktadırlar. Fizibilitelerini ve doğruluğunu kanıtlamak veya çürütmek, bilimsel modelleri test etmek için bu simülasyon ortamlarını kullanırlar (Kotusevski & Hawick, 2009).

Günümüz teknolojisindeki ilerleme, insanlara herhangi bir gerçek ortamdan çok daha hızlı bir şekilde sanal ortamda simülasyon yapabilme yeteneği sağlamaktadır. Simüle edilmiş ortamın sonucu, aynı deneyin gerçek dünyada yapılması durumunda sağlayabileceğinden dakikalar, saatler, günler ve hatta haftalar öncesinden sonuçların görülebilmesi imkanı sağlar.

Simülasyon ortamı kullanan ve yaygın olarak çalışılan sistemlerden biri de trafik ağıdır, çünkü trafiği gerçek bir ortamda denemek pratik değildir (Ejercito, Nebrija, Feria, & Lara-Figueroa, 2018).

Trafik simülasyon programları üç ana kategoriye (mikroskopik, mezoskopik ve makroskopik) ve iki ana yaklaşıma (sürekli ve ayrık) ayrılır. Mikroskopik modeller, bireysel araçların durumunu sürekli veya ayrık olarak tahmin eder ve öncelikle bireysel araç hızlarına, konumlarına odaklanır. Makroskopik modeller, trafik akımında, hız, akım ve yoğunluk olarak kabul edilen etkinlik ölçülerini bir araya getirir (Boxill & Yu, 2000). Mezoskopik modeller hem makroskopik hem de mikroskopik modellerin yaklaşımlarından oluşur. Mezoskopik modeller, makroskopik modellerin toplu seviye yaklaşımı ile mikroskopik modellerin bireysel etkileşimleri arasındaki boşluğu, trafik varlıklarını yüksek ayrıntı düzeyinde tanımlayarak doldururken, davranışları ve etkileşimleri, daha düşük ayrıntıda tasarlanır.

Literatürde Ejercito et al (2018), Matsim - Version 0.8.0, SUMO-Version 0.28.0, Aimsun-Version 8.1 ve PTV Vissim - Version 9'in genel özelliklerini Metro Manila şehrinin trafiğini en iyi şekilde simüle edebilmek için değerlendirmiştir. Kim, Suh, & Kim (2014) CORSIM'de ağıdaki her aracın konumunu ve hareketini saniyede bir kez izleme gibi bazı özelliklerin test edilmesi yoluyla "arıza ve iyileşme durumu" altında trafik akım özelliklerini incelemiştir. Kotusevski & Hawick (2009), SUMO - Simulation of Urban Mobility, sürüm 0.10.3, Quadstone Paramics Modeller, sürüm 6.4.1, Treiber'in Karayolu Trafik Ağı Mikrosimülasyonu, Aimsun, sürüm 6.0.4, Trafficware SimTraffic, sürüm 6 (yapı 614), Corsim TRAFVU, sürüm 6.1 yazılımlarını, uygulamalarını ve bunların karşılaştığı sorunları gözden geçirmiş ve bazı algoritmik çözümler sunmuşlardır. Ratrou, Rahman, & Box (2009) sıkça kullanılan mikroskopik ve makroskopik trafik simülasyon yazılımları olan Vissim, Corsim, Aimsun, Hatsim, Integration, Paramics, MitsimLab'ın karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Çalışmada bu yazılımların özellikleri incelenmiş ve hangi kısımlarda daha çok öne çıktıklarından bahsedilmiştir. Ramadhan, Bagus, & Nugrah (2017) Web Tabanlı Makroskopik Yol Trafik Simülatörü isimli çalışmada önerdiği web tabanlı simülatör ile harita verilerinin hazırlanması, trafik ağının oluşturulması, simülatöre trafik verilerinin entegrasyonu ve araç üretimi açısından değerlendirme yapmıştır.

Günümüzde artan hesaplama gücü, kavşaklar gibi ulaşım sistemlerinin belirli unsurlarının simülasyonunda fiziksel yolun ve çevresinin hassas bir şekilde modellenmesine katkıda bulunmuştur. Bu durumda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemlerinin grafik kullanıcı arayüzü ile entegrasyonu önemli bir rol oynar. Bu çalışmada farklı trafik stratejilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan farklı makroskopik simülasyon yazılım paketlerini ve genel özellikleri incelenmiştir.

2. Trafik simülasyon yazılımları

Trafik sistemleri, insan etkileşimleri ve insan-makine etkileşimleri nedeniyle karmaşık sistemlerdir. Bu tür bir sistemin karmaşıklığı nedeniyle, uygulamadan önce önerilen bir eylem planını test etmek, değerlendirmek ve göstermek için simülasyon gereklidir (Ratrou et al., 2009). Bu değerlendirmeleri gerçekleştirmek için kullanılan farklı trafik simülasyon yazılımları mevcuttur. Bu yazılımlar içinde yaygın olarak kullanılanların temel özellikleri ele alınarak açıklanmıştır:

- SUMO - Simulation of Urban Mobility, sürüm 0.10.3

Simulation of Urban MObility" (SUMO), büyük yol ağlarını yönetmek için tasarlanmış açık kaynaklı, mikroskobik bir yol trafiği simülasyon paketidir.

- Quadstone Paramics Modeller, sürüm 6.4.1

Quadstone PARAMICS, tek kavşaklardan ulusal ağlara kadar tüm ağ boyutları yelpazesini kapsayan trafik modellemesine birleşik bir yaklaşım sağlayan mikroskobik trafik simülasyonu için bir yazılım modelleri paketidir. Gelişmekte olan akıllı ulaşım sistemleri altyapılarını modeller (Url-3 2022).

- Aimsun, sürüm 6.0.4

AIMSUN, üç tür taşıma modelini tek bir yazılım uygulamasına entegre eder. Bunlar trafik atama modelleri, mezoskopik bir simülatör ve bir mikro simülatördür (Url-1 2022). Mikroskobik model, araba takip, şerit değiştirme ve boşluk kabul algoritmalarına dayalı olarak geliştirilmiştir.

- Trafficware SimTraffic, sürüm 6 (yapı 614)

SimTraffic, sokak ağlarını modellemek için SYNCHRO programını kullanan mikroskobik bir simülasyon paketidir. Başlangıçta arteriyel sinyal sistemi zamanlamasını modellemek için geliştirilmiştir. Yüzeysel sokak ağlarını, otoyolları, örülme bölümlerini, önceden ayarlanmış ve çalıştırılan trafik sinyallerini, dur kontrollü kavşakları, döner kavşakları, toplu taşıma işlemlerini, yaya vb. simüle edebilir (Url-5 2022).

- CORSIM TRAFVU, sürüm 6.1

CORSIM, otoyolların, kentsel caddelerin ve koridorların veya ağların analizi için tasarlanmış mikroskobik, stokastik, bağlantı düğümü ve periyodik tarama tabanlı bir trafik simülasyon programıdır (Prevedouros & Wang, 1999). CORSIM TRAFVU sunucuları, bir trafik simülasyonu görüntüleyicisidir ve CORSIM yazılım paketinin bir parçasıdır. Trafik Yazılımı Entegre Sisteminin önemli bir unsuru olan TRAFVU, analistin ağı grafiksel olarak görüntülemesine ve animasyon kullanarak performansını değerlendirmesine olanak tanıyan bir çıktı işlemcisidir (Kim et al., 2014).

- PTV Vissim - Sürüm 9

VISSIM, ayrık, stokastik ve zaman adımına dayalı mikroskobik bir model olan bir trafik akış modeline dayanmaktadır. Model, sürücü-araç birimlerini tekil varlıklar olarak kabul eder ve uzunlamasına araç hareketi için psiko-fiziksel bir araba izleyen modeli ve yanal hareketler için kural tabanlı bir algoritma içerir (Url-4 2022).

Simülasyon alanında en çok kullanılan bu altı yazılım paketi aşağıdaki kriterlere göre incelenmiştir.

1. Açık Kaynak ve Ücretsiz Kullanım
2. İşletim Sistemi Taşınabilirliği
3. Paket Dokümantasyonu ve Kullanıcı Arayüzü
4. Trafik Ağları ve İlgili Araç Modelleri Oluşturma
5. GUI Simülasyonu ve Grafik Gösteriminin Kalitesi
6. Simülasyon Çıktısı (veriler ve dosyalar)
7. Çok Büyük Trafik Ağlarını Simüle Etme Yeteneği
8. CPU ve Bellek Performansı
9. Ek Yetenekler

2.1. Açık kaynak ve ücretsiz kullanım

Açık kaynak kodlu yazılımlar kullanıcılara yazılımı ücretsiz olarak kullanma hakkı veren yazılımlardır. Bu özellik, ticari yazılım paketlerinde pek yaygın değildir. Bununla birlikte, açık kaynak projeleri, kullanıcılarına herhangi bir kısıtlama olmaksızın programı kullanma, çalışma ve değiştirme hakkı verdikleri için giderek daha popüler hale gelmektedir (Kotusevski and Hawick 2009).

SUMO, ücretsiz bir yazılımdır. Ücretsiz yazılımların başka bir özelliği de kaynak kodlarının da indirilip kullanılabilmesi olmasıdır. *SUMO*, iki farklı kurum tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu bir yazılım projesidir (Url-2 2022).

Quadstone Paramics Modeller, *Aimsun*, *Trafficware SimTraffic*, *CORSIM TRAFVU*, *PTV Vissim* yazılımları ve kaynak kodları ücretli olup 30 günlük demo kullanımları mümkündür. Fakat bunların bazılarının demo sürümlerinde özellik kısıtlamaları mevcuttur.

Açık kaynak yazılımlarının en popüler özelliği, ileri teknoloji bilgisayar sistemlerini keşfetmek için simülasyon modellerini ve paketlerini paralel kullanma imkanı destekler oluşudur (Kotusevski and Hawick 2009).

Tablo 1. Trafik yazılımlarının açık kaynaklı olma durumları

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Açık kaynaklılık	✓	X	X	X	X	X

2.2. İşletim sistemi taşınabilirliği

Taşınabilirlik, bir bilgisayar programının yeniden bir işlem gerektirmeden oluşturulduğu işletim sisteminden başka bir işletim sisteminde kullanılabilmesi özelliğidir.

SUMO, hem Linux hem de Windows, MacOS üzerinde çalışabilirken *Aimsun* Linux, Windows ve MacOS üzerinde çalışabilmektedir. Öte yandan, *Vissim* Windows ve Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Ejercito et al. 2018). İşletim sistemi taşınabilirliği, daha fazla kullanıcı getirdiği ve mevcut kullanıcılara daha fazla seçenek sunduğu için çok önemlidir. *Quadstone Paramics*, *Corsim*, daha ticari olanlar, sadece Microsoft Windows XP ve Microsoft Windows Vista işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Url-3 2022), (Url-5 2022).

Tablo 2. Trafik yazılımlarının işletim sistemi taşınabilirliği durumları

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Windows tabanlı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Linux tabanlı	✓	✓	X	X	X	✓
MacOS Tabanlı	X	✓	X	X	X	X

2.3. Paket dokümantasyonu ve kullanıcı arayüzü

Trafik simülasyon yazılımı gibi karmaşık uygulamaların kullanılabilirliği, iyi açıklanmış ve anlaşılması kolay bir kullanıcı arayüzüne dayanmaktadır. Bu şekildeki bir kullanıcı kılavuzu ve arayüzü özellikle teknik olmayan veya yeni kullanıcılar için yüksek önem arz etmektedir.

Paket yazılımlara bakıldığında *Sim Traffic* oldukça basit bir arayüze sahiptir. Kodlama süreleri göreceli daha kısadır (Steven Jones et al. 2004).

Vissim ve *Aimsun*, çevrimiçi olarak indirilebilen PDF belgelerine sahipken, diğer simülasyon yazılımlarının da kolay anlaşılabilir kullanım kılavuzları vardır.

2.4. Trafik ağları ve araç modelleri oluşturma

İncelenen bu altı simülasyon paketi içerisinde *SUMO*, *Aimsun*, *Quadstone Paramics* ve *Vissim*'de trafik ağları oluşturmak için grafik düzenleyiciler mevcuttur. Öte yandan *SUMO* paketinin trafik ağı için kendi

grafik düzenleyicisini içermediğini, ancak açık kaynaklı ve kullanımı ücretsiz bir uygulama olarak sunulan bir yazılım olduğunu belirtmek gerekir. Fakat ortaya çıkan hatalar sebebiyle çok kullanışlı olmadığı görüşleri vardır. Bununla birlikte *Simtraffic* ve *Corsim* paketlerinin demo sürümlerinde grafik düzenleyici bulunmamaktadır. *Simtraffic*'in tam sürümünde bir grafik düzenleyici vardır (Kotusevski & Hawick, 2009).

Bahsedilen yazılım paketlerine ait teknikler aşağıdaki gibidir:

SUMO:

- Trafik yol ağının bir XML dosyasına manuel yazılması
- Diğer trafik simülasyon uygulamalarında oluşturulan ağlardan içe aktarım
- Üç farklı ağ türü oluşturabilen otomatik bir ağ oluşturma sistemi:
 - Şebeke ağı: Ağdaki her düğüm, bir veya daha fazla boyut boyunca iki komşu ile bağlantı.
 - Örümcek ağı
 - Rastgele ağ (Kotusevski & Hawick, 2009)

Quadstone Paramics:

Demo sürümünde, otomatik ağ oluşturma sihirbazı kullanarak yalnızca basit iki bölge bir ağ oluşturulabilir. Uygulamanın tam sürümünde ise kullanıcı, otomatik ağ oluşturma sihirbazı kullanarak bir trafik ağı oluşturabilir ve daha fazla özelleştirilebilir (Kotusevski & Hawick, 2009).

Aimsun ve Vissim:

Paket içerisinde mevcut grafiksel ağ düzenleyicisini kullanarak trafik ağı manuel olarak çizilebilir (Ejercito et al., 2018).

Simülasyon uygulamalarının bazılarında araç hareket modellerini tanımlamak için daha kullanıcı dostu olan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Uygulamaların kullandıkları modellerden dolayı (mikro ya da makro model olması gibi) farklılıklar vardır. Örnek olarak *SUMO*, her aracın kendi destinasyonunu ve varış yerine kadar geçmesi gereken yolları bilen tek uygulamadır. İncelenen diğer uygulamalar araç hareketleri konusunda benzer yaklaşımlar göstermektedir. *Vissim*, aracın çıkış ve varış noktaları arasındaki seyahat süresini belirler ama *CORSIM* belirli bir rota için seyahat süresini belirlemek üzere toplanabilen her bağlantı için seyahat süreleri üretir (dönüş seyahat süreleri oluşturulabilir) (Bloomberg & Dale, 2000). Bahsedilen yazılımların araç hareket modellemesine yaklaşımları şu şekildedir:

SUMO:

Dört farklı tanım türüne göre kullanıcının oluşturduğu araç rotası tanımı:

- Trafik akımı tanımları;
- Trafik akımı ve dönüş oranları;
- Başlangıç- varış (O-D) matrisleri;
- Diğer trafik simülasyonu uygulamalarında oluşturulan araç rotalarını içe aktarım
- Rastgele bir araç rota oluşturucu kullanma.

Quadstone Paramics:

- Başlangıç- varış (O-D) matrisi uygulama

Aimsun:

- Bölge arz ve talebini kullanarak O-D matrisleri uygulama
- Paket ayrıca rastgele bir araç rotası seçebilme yeteneğini içerir (Kotusevski & Hawick, 2009).

Vissim:

- Araç rotalama kararı
- Trafik arz ve talebini kullanan O-D matrisi uygulama (Ejercito et al., 2018)

Corsim ve *Simtraffic*'in demo sürümlerinde bu özellik görülmezken tam sürümlerinde mevcuttur.

Tablo 3. Trafik yazılımlarının araç modelleme yetenekleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Yol ağı oluşturma	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Araç modelleme yeteneği	✓	✓	X	X	X	✓

2.5. Kullanıcı grafik arayüzü ve grafik gösteriminin kalitesi

Simülasyon yazılımları gibi karmaşık olan sistemlerin rahat kullanılabilirliği, iyi açıklanarak hazırlanmış bir dokümantasyon ve basit bir grafik arayüzü ile sağlanabilir.

Teknik bilgisi olmayan bir kullanıcının, bir trafik simülasyonunun sonuçlarını görmesinin en iyi yollarından biri, simülasyonu gerçek zamanlı olarak çalışırken izleyebilmesidir. Trafik simülasyonunun grafiksel gösterimi, önemli bir olayın tam olarak ne zaman ve hangi periyotlarda gerçekleştiğini incelemek için iyi bir yöntemdir. Bu yöntem, simülasyon sırasında bir şey değişirse veya trafik düzeninde bir tür bozulma olursa, trafik akımı üzerinde olumlu veya olumsuz bir etki olup olmadığını belirlemeye de yardımcı olabilir (Kotusevski & Hawick, 2009).

Quadstone Paramics Modeller ve Vissim tüm paketler arasında en iyi grafik gösterimine sahip yazılımlardır. Quadstone Paramics, şehirdeki binalar, araçlar, yayalar vb. için kullanılacak doku tipleri içerir ve böylece simülasyon Şekil 1'de gösterildiği gibi diğer paketlerden çok daha gerçekçi bir görünüme kavuşur. Paramics Modeller'da kullanıcının istediği kadar simülasyonu farklı referans noktalarından görüntüleyen kamera ekleme özelliği bulunmaktadır. Kullanıcı, simülasyon çalışırken aynı anda trafik ağı içindeki tüm ilgi noktalarının farklı açılarından görebilir ve bunlar üzerinden trafik modelini çok net bir şekilde inceleyebilir.

**Şekil 1.** Paramics simülasyon çalışması

Aimsun paketi, simülasyonun basit bir üç boyutlu ön izlemesini içerir. Ayrıca, Şekil 2'de gösterildiği gibi, trafik ağının tüm ilgi çekici noktalarını yakalamak için gerektiği kadar kamera ekleme özelliğine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009). Aynı zamanda simülasyon 360 derecelik bir açıyla görüntülenebilir. Fakat araç, bina ve yaya grafikleri detaylı değildir (Ejercito et al. 2018).



Şekil 2. Aimsun 3D

SUMO, sadece trafik ağında gerçekleştirenleri ölçüp tanımlamaya yarayabilecek istatistik ve çıktı dosyalarını içeren grafiksel olmayan bir simülasyon tipine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009).

SimTraffic, iki boyutlu simülasyon içerir fakat kullanıcı kılavuzunda uygulamanın üç boyutlu görünümü desteklediği belirtilmektedir. Yazılım grafiksel verilerin s3d dosyası formatında saklanıp sonrasında 3D bir grafik paketinde görüntülenebileceğini iddia eder. Fakat günümüzde bu dosya formatıyla çalışan bir paket kalmadığından uygulama geliştiricilerinin bu konuda güncelleme yapması gerektiği kanaati oluşmuştur.

Corsim Trafvu da iki boyutlu simülasyon özelliğine sahiptir (Kotusevski and Hawick 2009).

Vissim'in grafiksel öğeleri çok kapsamlı ve karmaşıktır fakat bunları detaylı anlatım içeren kılavuzu yardımıyla çözmek mümkündür. *Vissim* üç boyutlu görüntü yeteneklerine sahip bir yazılımdır. Daha gerçekçi bina yapıları, araçlar ve yayalar oluşturulabilir, aynı zamanda simülasyon 360 derecelik bir açıyla izlenebilir (Şekil 3) (Ejercito et al. 2018).



Şekil 3. Vissim 3D

Tablo 4. Trafik yazılımlarının grafik gösterimleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Grafik Özellikleri 2D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Grafik Özellikleri 3D	X	✓	✓	X	X	✓

2.6. Simülasyon çıktıları (veri ve dosyalar)

Bir trafik simülasyonunun grafiksel gösterimini takip etmek, belirli bir trafik ağı üzerinden trafik akımını belirlemenin en iyi yöntemlerinden biri olsa da istatistiksel çıktı her zaman gerçek bir trafik simülasyonu izlerken insan gözünden kaçabilecek ek bilgiler vermektedir. İncelenen yazılım paketlerinin çoğunun bir tür çıktı dosyası veya veri içermesinin nedeni budur. Aşağıda simülasyon paketlerinin bu konudaki yaklaşımları verilmiştir:

SUMO:

- Rota Detektörleri: Rota dağılımlarını örneklemek için detektör
 - ✓ Kenar şeridi trafiği: Kenar veya şerit tabanlı ağ performans ölçümleri
 - ✓ Yolculuk bilgileri: Her aracın yolculuğu hakkında toplu bilgi
 - ✓ Araç rota bilgileri: Simülasyon çalışması boyunca her aracın rotaları hakkında bilgi
 - ✓ Simülasyon durumu istatistikleri: Simülasyonun mevcut durumu hakkında bilgi

Aimsun:

- ✓ İstatistiksel simülasyon sonuçları: Ağ, Bölüm, Düğüm
- ✓ Çıktı veritabanı tanımı
- ✓ Trafik istatistiklerinin hesaplanması
- ✓ Deneysel çıktı
- ✓ Harita çıktısı

Vissim:

- ✓ Senaryo Yönetimi: Senaryo sonuçlarını rahatça karşılaştırma
- ✓ Gelişmiş değerlendirme olanakları: Düğümler için hizmet düzeyi sonuçları
- ✓ Matris düzenleyici aracılığıyla matrislerin iyileştirilmiş kullanımı
- ✓ Görselleştirme vurguları
- ✓ Araç kaydı
- ✓ Araç seyahat süreleri (ham veri)
- ✓ Yaya kaydı
- ✓ Düğümler (ham veri)
- ✓ Sinyal değişiklikleri (Ejercito et al. 2018)

Simtraffic tam sürümde trafik ağı simülasyonunun çıktısını farklı raporlar şeklinde verir. Ancak demo sürümde bu mevcut değildir.

Corsim TRAFVU yazılımı, CORSIM paketi tarafından oluşturulan simülasyonu yalnızca önizlemek için kullanılan bir grafik oynatıcıdır, bu nedenle herhangi bir çıktı dosyası türü içermez. Ancak, TSIS CORSIM paketinin tam sürümünün, belirli bir trafik ağının simülasyonundan elde edilen sonuçların bazı istatistiksel temsil yollarını ve çıktı dosyalarını içerir (Kotusevski and Hawick 2009).

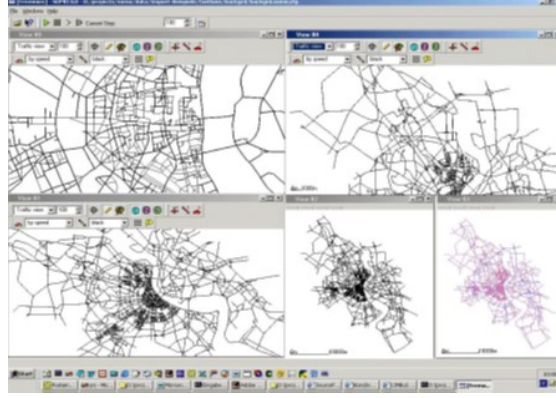
Tablo 5. Trafik yazılımlarının raporlama özellikleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Simülasyon Raporlama	✓	✓	X	✓	X	✓

2.7. Çok büyük trafik ağlarını simüle etme yeteneği

Trafik ağları, spesifik değişiklikleri ve bunların ağ üzerindeki etkilerini planlamak için simüle edilir. Bu şehrin başlıca caddelerinden biri olabilir ya da büyük bir şehrin karmaşık şehir merkezi olabilir. Bu sebeple yüzlerce sokak, cadde veya binlerce aracın bulunduğu geniş trafik ağları simüle etme seçeneği bir yazılım paketi için önemlidir (Ejercito et al. 2018).

Ücretli yazılımların demo sürümleri ve ücretsiz yazılımların tam sürümleri incelendiğinde kurulan daha geniş ağı trafik simülasyonlarının hızının daha düşük olduğu görülmüştür. *Aimsun*, *Vissim* ve *SUMO*'nun geniş trafik ağı simüle edebilme yeteneği vardır. *Aimsun*'un giriş prosedürleri model oluşturma süresinin hızlanmasına yardımcı olmaktadır (Ratrou, Rahman, and Box 2009).



Şekil 4. SUMO yazılımıyla yapılan Köln şehri simülasyonu

Tablo 6. Trafik yazılımlarının geniş ulaşım ağı simüle etme özellikleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Geniş Yol Ağı Modelleme	✓	✓	X	X	X	✓

2.8. İşlemci ve bellek performansı

Yazılım paketlerinin aktif haldeyken kullandığı bellek ve işlemci seviyeleri Tablo7’de verilmiştir:

Tablo 7. Yazılımların işlemci ve hafıza kullanımları

	SUMO	Paramics Modeller	Vissim	Aimsun	SimTraffic	Corsim TRAFVU
İşlemci kullanımı	% 5-17 arasında	Sabit %50	En az %50	% 25-40 arasında	Sabit %50	Sabit %50
Ön bellek kullanımı	12-16 MB arası	Grafik modelleri ve trafik ağına göre 40-140 MB arası	16 GB ve üstü	% 30 -40 arasında	35 MB civarında	Araç sayısına göre % 28-32 arasında

2.9. Ek yetenekler

Farklı Araç Tiplerinin Simülasyonu: Basit ya da detaylı seçeneklerle incelenen tüm simülasyon yazılımlarında mevcuttur.

Trafik Işıkları (Sinyalizasyon) Yapılandırabilme: Tüm paketlerde kolay veya zor şekilde düzenleme yapmak mümkündür. Örneğin; *SUMO*’da bu yapılandırmanın manuel olarak yapılması gerekmektedir. Diğer yazılımlarda ise demo sürümlerinde bu özellik yoktur.

Toplu Taşıma ve Toplu Taşıma Durakları Ekleme: Şehir içi trafiğinde, trafik sıkışıklığında ve tıkanıklıklarda en önemli faktör şüphesiz şehir içi toplu ulaşımdır. Kent trafiğinde önemli yeri olan toplu taşıma faktörünü simülasyona ekleme özelliği trafik simülasyon uygulaması için büyük önem arz etmektedir. Kullanıcı, trafik ağına otobüs, tren, tramvay vb. ekleyerek bunların ağıdaki akışı nasıl etkilediğini ve istenilen düzeyde değilse bu akışı iyileştirmek için neler yapılabileceğini görebilir. İncelenen yazılımlar arasında *SUMO*, *Paramics*, *Aimsun*, *Vissim* ve *Corsim*’de bu özellikler mevcuttur (Url-1 2022), (Url-3 2022). *SimTraffic*’te ise böyle bir özellik bulunmamaktadır (Url-5 2022).

Tablo 8. Trafik yazılımlarının ek özellikleri

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Araç tipleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sinyalizasyon Modelleme	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toplu Taşıma Özelliği	✓	✓	✓	X	✓	✓

3. Sonuç

Bu çalışmada bahsedilen trafik simülasyon paketlerinin çoğunun amacı mühendislerin tasarlamayı veya değişiklik eklemeyi planladıkları bir trafik ağını simüle etmelerine yardımcı olmaktır. Bu sayede gerçekleştirilecek değişiklikler hakkında ön bilgi sahibi olarak avantaj ve dezavantajların önceden görülmesi ve projenin daha iyi hale getirilmesine çok önemli katkı sunmaktadır. İncelenen yazılım uygulamalarının her biri, tam sürümleri kullanılırken, kullanıcı için bu görevi yerine getirecek ve mevcut ya da halen planlama aşamasında olan, ilgili bilgileri, istatistikleri ve trafik sisteminin önizlemesini sağlayacaktır. Trafik simülasyon yazılımları analizciler açısından oldukça maliyetli olan ulaşım yatırımlarında doğru karar vermeyi sağlarken kamu ve yatırımcı açısından da maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu neden ile doğru trafik simülasyon yazılımının kullanılmasının önemi daha da artmaktadır.

Tablo 9. Simülasyon yazılımları genel özellik karşılaştırması

	SUMO, V:0.10.3	Aimsun V:6.0.4	Paramics V:6.4.1	SimTraffic, V:6	CORSIM V:6.1	PTV Vissim V:9
Açık Kaynak	✓	X	X	X	X	X
Windows tabanlı	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Linux tabanlı	✓	✓	X	X	X	✓
MacOS Tabanlı	X	✓	X	X	X	X
Yol ağı oluşturma	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Araç modelleme yeteneği	✓	✓	X	X	X	✓
Grafik Özellikleri 2D	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Grafik Özellikleri 3D	X	✓	✓	X	X	✓
Simülasyon Raporlama	✓	✓	X	✓	X	✓
Geniş Yol Ağı Modelleme	✓	✓	X	X	X	✓
Max. CPU kullanımı	17%	40%	50%	50%	50%	50%
Araç tipleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sinyalizasyon Modelleme	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toplu Taşıma Özelliği	✓	✓	✓	X	✓	✓

İncelenen yazılımların genel özellikleri bir bütün halinde Tablo.2’de sunulmuştur (Kotusevski and Hawick 2009), (Ejercito et al. 2018). Bu paketler arasında SUMO, Aimsun ve Vissim'in genel olarak kabul edilebilir sonuçlar sağlayabileceği görülmüştür. Her üç simülasyon paketinin de oldukça iyi performans gösterdiği ancak bir yol ağı analizi için birini seçmeden önce probleme dair anlaşılması gereken bazı sınırlamalar olduğunu da dikkate almak gerekir. Görsel özellikleri ve hız açısından Aimsun ve Vissim'in ön plana çıkmasının karşısında yazılım maliyeti ile fiyat-performans karşılaştırması yapıldığında SUMO ön plana çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bu konuda 'en iyi' veya 'en kötü' yazılım yoktur. Tüm paketlerin ortak ve benzersiz özellikleri veya farklı güçlü ve zayıf yönleri vardır. Trafik simülasyon modellerinin doğrulama özelliği gereği, projenin sağlıklı gerçekleşmesi adına farklı yazılım paketleri ile simülasyon modellerinin analiz edilmesi faydalı olacaktır. Problemin doğru tanımlanması, probleme uygun bir trafik simülasyon yazılımının da seçilmesine katkı sağlayacaktır. Simüle edilecek trafik ağının verilerini ve ihtiyaçlarını bilmek, bir simülasyon paketi seçimi yapmak için kilit nokta olacaktır.

Araştırmacıların katkı oranı beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Çıkar çatışması beyanı

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

Destek ve teşekkür beyanı

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

Referanslar

Bloomberg, L., & Dale, J. (2000). Comparison of VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network. *Transportation Research Record*, 1727(1), 52-60.

Ejercito, Paolo M., Kristine Gayle E. Nebrija, Rommel P. Feria, and Ligaya Leah Lara-Figueroa. 2018. "Traffic Simulation Software Review." *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017* 2018-Janua:1–4. doi: 10.1109/IISA.2017.8316415.

Kim, S., Suh, W., Kim, J. 2014. " Traffic flow characteristics in CORSIM". *ICISA 2014 - 2014 5th International Conference on Information Science and Applications* 13-15.

Kotusevski, G., and K. A. Hawick. 2009. "A Review of Traffic Simulation Software." 1–19.

Prevedouros, P. D., & Wang, Y. (1999). Simulation of large freeway and arterial network with CORSIM, INTEGRATION, and WATSim. *Transportation Research Record*, 1678(1), 197-207.

Ramadhan, H., & Nugraha, I. G. B. B. (2017, October). Web-based macroscopic road traffic simulator. In *2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA)* (pp. 1-6). IEEE.

Ratrout, Nedal T., Syed Masiur Rahman, and Kfupm Box. 2009. "Number 1B 121." *Number 1B The Arabian Journal for Science and Engineering* 34.

Steven Jones, By L., Andrew J. Sullivan, Pe Naveen Cheekoti, Michael D. Anderson, and Pe Dillip Malave. 2004. "Traffic Simulation Software Comparison Study."

S.A. Boxill and L. Yu. 2000. "An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development", Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University, USA.

Url-1. 2022. "Aimsun: Simulation and AI for Intelligent Mobility." Retrieved February 20, 2022 (<https://www.aimsun.com/>).

Url-2. 2022. "Eclipse SUMO - Simulation of Urban MObility." Retrieved February 21, 2022

(<https://www.eclipse.org/sumo/>).

Url-3

. 2022. “Paramics Microsimulation - 3D Traffic Simulation Brought to You by SYSTRA.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.paramics.co.uk/en/>).

Url-4. 2022. “Traffic Simulation Software | PTV Vissim | PTV Group.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>).

Url-5. 2022. “TRAFFICWARE, A CUBIC COMPANY - A Tradition of Innovation.” Retrieved February 20, 2022 (<https://www.trafficware.com/>).

Araştırma Makalesi

İnsansız hava araçlarının (İHA) taşımacılıkta kullanımına yönelik keşfedici bir araştırma: drone taşımacılığı ve uygulamaları

Muhammed Turgut^{1,*}, Bilal Şeker²

¹ Gümrük İşletme Bölümü, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye

² Lojistik ve Tedarik Zinciri Anabilim Dalı, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Correspondence: muhammedturgut@tarsus.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1146992

Özet: Teknolojik gelişmelerle birlikte son dönemlerde insansız hava araçları (İHA) alanında önemli gelişmeler ve uygulamalar yaşanmaktadır. Özellikle askeri alanda çok fazla kullanılan İHA'ların ticari hayata adaptasyonu hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Askeri gözetim ve izleme, telekomünikasyon, sağlık ve kurtarma operasyonları gibi çeşitli uygulamalarda büyük başarılar elde etmeye yardımcı olan İHA'lar dronelar aracılığıyla lojistik operasyonlarda da aktif rol almaya başlamışlardır. E-ticaretin günlük yaşama çok fazla entegre olması lojistik operasyonlarda yenilikçi çözümlere duyulan ihtiyacı da arttırmıştır. Bu kapsamda işletmeler müşteri taleplerine kesintisiz ve hızlı cevap verebilmek için drone taşımacılığını tercih etmeye başlamışlardır. Drone taşımacılığıyla birlikte erişimin zor olduğu, trafik sıkışıklığının yoğun olduğu ve henüz altyapı eksikliklerin tamamlanmadığı lokasyonlara da sevkiyat gerçekleştirilme imkânı doğmuştur. İlgili literatür incelendiğinde, son yıllarda uygulanan bu taşımacılık faaliyetinin incelenmesine yönelik çalışmaların kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada drone taşımacılığı ile ilgili kavramsal çerçeve anlatılarak, lojistik işletmelerindeki kullanımı uygulamalarıyla birlikte ele alınmıştır. Keşfedici bu araştırma aracılığıyla literatürdeki eksikliklerin giderilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışma akademisyenler için drone taşımacılığının sektöre olan yansımalarını gösterirken, uygulamacılar için ise bir vizyon belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma sonucunda drone taşımacılığının henüz yeni geliştirilen bir süreç olmasına rağmen lojistik işletmelerinde ve operasyonlarında kullanımının hızla arttığı ve yakın gelecekte de önemini arttıracığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Drone, drone taşımacılığı, insansız hava araçları, taşımacılık

An exploratory study on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in transportation: drone transportation and its applications

Abstract: Along with technological developments, there have been significant developments and applications in the field of unmanned aerial vehicles (UAV) recently. The adaptation of UAVs, which are used a lot especially in the military field, to commercial life is rapid. UAVs, which have helped to achieve great success in various applications such as military surveillance and monitoring, telecommunications, health and rescue operations, have also started to take an active role in logistics operations through drones. The integration of e-commerce into daily life has increased the need for innovative solutions in logistics operations. In this context, businesses have started to prefer drone transportation in order to respond to customer demands uninterruptedly and quickly. With drone transportation, it has become possible to make shipments to locations where access is difficult, traffic congestion is intense and infrastructure deficiencies have not been completed yet. When the relevant literature is examined, it is seen that the studies on the examination of this transportation activity implemented in recent years are limited. In this study, the conceptual framework of drone transportation is explained and its use in logistics enterprises is explained with applications. Through

* Corresponding author.

E-mail address: muhammedturgut@tarsus.edu.tr

ORCID: 0000-0002-0868-7041; 0000-0001-9511-6898

Received 22.07.2022; accepted 05.10.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

this exploratory research, it is aimed to eliminate the deficiencies in the literature. While this study shows the reflections of drone transport on the industry for academics, it aims to set a vision for practitioners. As a result of the research, it has been determined that although drone transportation is a newly developed process, its use in logistics enterprises and operations has increased rapidly and will increase its importance in the near future.

Keywords: Drone, drone transportation, transportation, unmanned aerial vehicles

1. Giriş

İnsansız Hava Aracı (İHA) “içerisinde insan bulunmayan otonom olarak veya yönlendirilebilen uzaktan kumandalı uçaklar” olarak tanımlanmaktadır (Glover, 2014). İHA’lar, üzerinde pilot olmadan çalışan, aerodinamik kuvvetleri kullanan bir hava aracı olarak tanımlanır. Önceden programlanmış uçuş planları veya daha karmaşık dinamik otomasyon sistemlerine dayalı olarak bilgisayar üzerinde otonom olarak uzaktan kumanda ile kontrol edilir (Şkrinjar vd., 2018). İHA’lar dronelar aracılığıyla lojistik operasyonlarda da aktif rol almaya başlamışlardır. Dronelar, askeri alanda çok fazla kullanım alanı bulan uzaktan kumandalı pilotsuz hava araçlarıdır. Son dönemlerde çok çeşitli sivil (askeri olmayan) uygulamalarda kullanılmaya başlanmış ve büyük bir potansiyele sahiptir. Drone teknolojisi hızla gelişmekte ve önümüzdeki yıllarda iş ortamlarını önemli ölçüde değiştirecektir (Otto vd., 2018). Son zamanlarda drone teknolojisi alanında önemli gelişmeler ve uygulamalar yaşanmaktadır. Birkaç yıl içinde bu uygulamaların günlük yaşantımıza tamamen entegre olacağı düşünülmektedir. Günümüzde droneların kullanımı dünya çapında giderek daha popüler hale geliyor. Günlük hayatımızda drone'lar hem kişisel hobiler için hem de ticari faaliyetler için kullanılmaktadır. Endüstriyel sektörlerde, dronelar tesis denetimi, elektrik hattı denetimleri, ilkyardım, yangın ve sel izleme amaçlı kullanılmaktadır. Kullanım alanları analiz edildiğinde akla gelebilecek hemen hemen her sektörde drone'ların kullanıldığı göze çarpmaktadır (Ayrancı, 2017). Ticari amaçla kullanılan droneların tarım (Türkseven vd., 2016; Akkamış ve Çalışkan, 2020; Özgüven vd., 2022), inşaat (Fidancı ve Karabörk, 2019), ulaşım ve trafik yönetimi (Raj ve Sah, 2019), sağlık ve ilk yardım (Yılmaz, 2018; Nyaaba ve Ayamga, 2021; Koshta vd., 2021; Ghelichi vd., 2021; Zhu vd., 2022), denetim (Mualla vd., 2018), kamu güvenliği (Kaşlı, 2022), paketleme (Liu vd., 2017; Javadi vd., 2021; Osakwe vd., 2022) ve diğer birçok sivil hükümet faaliyetlerinde ve kamu hizmetini tesis etmek amacıyla bir çok faaliyette yer aldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra drone teknolojisinin tedarik zincirinin bir çok aşamasından etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Çalışkan ve Erturgut, 2022).

Günümüzde birçok endüstri, işgücü maliyetini azaltabileceği için pilotsuz teknolojiden potansiyel olarak yararlanmaktadır. Drone'lar, insanların erişemeyeceği tehlikeli ortamlarda çalışabilir. Ayrıca pilotsuz teknoloji, hava beslemesi, termal kontrol ve kabin basınçlandırmasını sağlayan kokpit ve çevre sistemlerini gereksiz hale getirerek uçağın ağırlığını ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltmaktadır. Drone'lar için yol altyapısı gerekmez ve bu nedenle karayoluyla ulaşılması zor olan yerlere erişebilir (Otto vd., 2018). Drone teknolojisi taşımacılık alanında, düşük maliyetleri, küçük boyutları ve programlanabilir özellikleri nedeniyle son on yılda dikkatleri üzerine çekmiştir. Drone teslimatı, paketleri verimli bir şekilde teslim etmek için en umut verici uygulamalardan biridir (Kim ve Matson, 2017). Tedarik zinciri operasyonlarında yer alan şirketler, daha önce çok zaman alan, yüksek verim gerektiren ve pahalı olan veya emek yoğun bazı görevleri önemli ölçüde yerine getiren çok çeşitli rollerde hizmet etmek için insansız hava araçları olarak da bilinen droneları kullanmaktadır (Sarder, 2020).

Çalışmanın birinci bölümünde insansız hava araçları ile ilgili bilgiler verilerek, tarihçesi anlatılacak ve İHA’ların ticari faaliyette sağladığı avantaj ve dezavantajlar ele alınacaktır. İkinci kısımda türkçe ve yabancı geniş kapsamlı bir literatür incelemesi yapılacaktır. Üçüncü kısımda ise taşımacılık faaliyetlerinin kapsamı ele alınacaktır. Çalışmanın son kısmında ise drone taşımacılığı hakkında bilgiler verilerek uygulamadaki kullanımına değinilecektir. Son olarakta incelenen konu hakkında sonuç ve öneriler sunulacaktır.

2. Literatür

Son yıllarda insansız hava araçlarına olan ilgi hem kişisel kullanımda hem de ticari kullanımda giderek artmaktadır. Lojistik sektöründe İnsansız hava aracıyla teslimatın benimsenmesinde birçok önemli faktör rol oynayabilir. Bu makale, bu tür kritik başarı faktörlerini ortaya çıkarmaya ve aralarındaki ilişkileri kurmaya çalışmaktadır. Çalışmamızda insansız hava araçlarının ticari olarak taşımacılık faaliyetlerinde kullanımına yönelik uygulamalar ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında uluslararası literatür incelenmiş hangi alanlarda drone kullanımının yaygın olduğu saptanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda özellikle son tüketiciye teslimat alanında yaygın bir şekilde drone kullanımı saptanmıştır. Raj ve Sah (2019)’un yaptığı çalışmada drone kullanımının trafik

sıkışıklığını önleyerek teslimat süresini kısaltma potansiyeline sahip olduğu bununla birlikte geleneksel ulaşım modlarına kıyasla karbon ayak izini azaltan bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur (Raj ve Sah, 2019). Yine ürün teslimatı alanında Javadi vd. (2021)'in yaptığı çalışma incelendiğinde kamyon ve drone teslimat modelinin karşılaştırmalı bir analizi yapılmıştır. Kamyonlardan paket teslimatı için gönderilen dronelerin geri dönüşlerinde kamyon ile senkronize bir zamanlama ve rotalama sağlaması için bir matematiksel model geliştirilmiştir (Javadi vd., 2021). Gelecek yıllarda teslimat süreçlerinde drone kullanımının nihai kullanıcılar için kabul görüp görmeyeceğine dair yapılan sosyal ve bilişsel bir çalışma Osakwe vd. (2022) tarafından yapılmıştır. Liu vd. (2017), ürün teslimatı süreçlerinde daha düşük maliyetli olması nedeniyle drone kullanımının yaygınlaştığını ancak seyrek talep altında bu verimin ortadan kalktığını vurgulamışlardır. Çalışmada bu soruna odaklanarak tandem yönlendirme ile drone ve kamyon rotalama probleminin çözümüne dair araştırma yapmışlardır (Liu vd., 2017).

İnsani yardım ve sağlık alanında drone kullanımına yönelik çalışmalar için Zhu vd. (2022), Nyaaba ve Ayamga (2021), Koshta vd. (2021) ve Ghelichi vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalar incelenmiştir. Zhu vd. (2022), yaptıkları çalışmada beklenmeyen durumda gerçekleşen bir afet sonrası insansız hava aracı (İHA)ların ilk yardım için gerekli malzemelerin insani yardım uygulaması için ihtiyaç talep noktalarına teslim edilmesini ele almaktadır (Zhu vd., 2022). Nyaaba and Ayamga (2021) yaptıkları çalışmada ise çeşitli tıbbi malzemelerin dronlar tarafından taşınmasını, tıbbi dronların başarılı kullanımının zorluklarını ve tıbbi dronların potansiyel faydalarını inceleyen bir literatür çalışmasını ele almışlardır. Koshta vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada ise Covid 19 kaynaklı ülkelerin belirsiz bir süre için karantinaya alınmasıyla birlikte, araçların ürünleri arzdan talep noktasına taşıyamaması nedeniyle insanların gıda, ilaç ve diğer temel ihtiyaç maddelerine erişiminin dronelar tarafından yapılmasını ele almışlardır (Koshta vd., 2021). Ghelichi vd. (2021), tarafından yapılan çalışmada ise tıbbi malzemelerin zamanında teslimi için bir drone filosunun lojistiğini, rotalarını optimize etmek için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir (Ghelichi vd., 2021).

IoT- Nesnelerin interneti alanında yapılan çalışmalar kapsamında Cheema vd. (2021), Merkert ve Bushell (2022), Mualla vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalar incelenmiştir. Cheema vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada dronelerin kullanımında teknolojik bir değişim olarak baz istasyonları ile dronelar arasında bir ilişki kurulmasına ele alınmış bu kapsamda baz istasyonlarından fadalanarak 5G ve ötesi teknolojilerin dronelara entegre edilmesi üzerinde durulmuştur (Cheema vd., 2021). Merkert ve Bushell (2022) tarafından yapılan çalışmada ise drone kullanımının hızla yayılması ve drone filolarının kontrolsüz bir şekilde büyümesinin yaratacağı olumsuz etkilerin ele alınmış bu konudaki düzenleyici politikaların önemine dikkat çekilmiştir. Bununla birlikte gelecekte drone kullanımının kontrollü yaygınlaşmasını sağlamaya yönelik tehdit ve fırsatlar ele alınmıştır (Merkert ve Bushell, 2022). Mualla vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise İnsansız Hava Araçlarının (İHA) hava taşımacılığında sivil uygulamaların giderek daha fazla ilgi gördüğü üzerinde durulmuş, operasyonel maliyetler, güvenlik endişeleri ve yasal düzenlemeler nedeniyle, güvenli yazılım modellerinin uygulanması ve testlerini yürütmek için tercihen aracı tabanlı simülasyon çerçevelerinin kullanılması önerilmiştir. Çalışmada ISO yazılım kalite modeli kullanılarak en güvenli metodojileri ortaya konulmuştur (Mualla vd., 2018).

Çalışma kapsamında Türkçe literatür incelediğinde İHA kullanımlarının tarım, ormancılık, gazetecilik, madencilik, sağlık ve lojistik alanında yapılan çalışmalarda incelendiği tespit edilmiştir. Tarım alanında kullanımına yönelik Türkseven vd. (2016), Akkemiş ve Çalışkan (2020), Özgüven vd. (2022), çalışmaları incelenmiştir. Türkseven ve ark. tarafından yapılan çalışmada tarım sektöründe hangi faaliyetlerde İHA kullanımını incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda insansız hava araçlarının tarımda bitkilerde hastalıkların tespitinde, yabancı otların flora tespitinde, olgunluk tespitinde, verimlilik tespitinde, su stresi ve hassas kimyasal uygulamalarda kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır (Türkseven vd., 2016). Tarım sektöründe insansız hava araçlarının kullanımının uzaktan algılamada diğer sistemlere göre daha hızlı ve daha ekonomik bir sistem olduğu tespit edilmiştir (Akkemiş ve Çalışkan, 2020). İnsansız hava araçları gibi uzman ve yeni teknolojilerin kullanımı tarımda uzman sistemlerin gelişimi sağlamaktadır. Yeni uygulamaların gelişimi tarım sektörüne birçok katkı sunarken, drone teknolojisinin gelecek yıllarda da bu sektörde çok fazla kullanılacağı düşünülmektedir (Özgüven vd., 2022).

Ormancılık alanında kullanımına yönelik Akgül vd. (2016), Fidancı ve Karabörk (2019), tarafından yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Akgül ve ark. tarafından yapılan çalışmada insansız hava araçlarının ormancılıkta kullanım alanları ve ormanlık alanlarda sayısal yükseklik modeli oluşturma olanakları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ormancılık faaliyetlerinde kaliteli görüntü ve coğrafi bilgi sistemi verilerini elde edebilmede insansız hava aracı kullanımının katkı sağladığı görülmektedir (Akgül vd., 2016). Fidancı ve Karabörk (2019), tarafından yapılan çalışmada ise İHA'ların ormanlık alanlardaki karayolu projelerinde kullanımı incelenmiştir. Geleneksel yöntemlerle elde edilen veriler ve İHA'lar tarafından elde edilen verilerin kıyaslandığında bu çalışmada sonuçların birbirine benzer bir şekilde olduğu görülmüştür (Fidancı ve Karabörk, 2019).

Diğer alanlarda yapılan çalışmalara baktığımızda Kekeç vd., (2018) madencilik faaliyetlerinde insansız hava araçları kullanımını ele almışlardır. Bu alanda kullanılan insansız hava araçlarının madenin havadan izlenebilmesinin geleneksel yöntemlere göre zaman ve ölçüm hassasiyeti sağladığı sonucuna varılmıştır (Kekeç vd., 2018). Kaşlı (2022), yapmış olduğu çalışmada ise kolluk kuvvetlerinde insansız hava aracı kullanımını incelemiştir. Drone teknolojisinin kolluk operasyonlarında kullanılması sınır güvenliği, istihbarat, olay yeri inceleme, izleme ve gözlem gibi birçok uygulamada kolaylık sağladığı görülmüştür (Kaşlı, 2022). Kavaklı (2018), yapmış olduğu çalışmada dronelerin gazetecilikte kullanımını incelemiştir. Bu teknolojiyle birlikte gazetecilikte haber üretim, dağıtım, tüketim süreçleri, haber anlatım ve sunum tekniklerinin zenginleşmesine katkı sunmuştur (Kavaklı, 2018). Yılmaz (2018), ise insansız hava araçlarının insani yardım faaliyetlerinde kullanımını ve önemini vurgulamışlardır. İnsani yardım hususunda insansız hava araçlarının gelecek vaat eden bir teknoloji olduğu söylenebilir (Yılmaz, 2018).

Yerli literatürde lojistik ve tedarik zinciri alanında insansız hava aracı çalışmalarının sayılı olduğu görülmüştür. Bu alanda tespit edilen tek çalışmanın Çalışkan ve Erturgut (2022), tarafından İHA'ların lojistik sektöründe kullanımı ve İHA pilotları üzerine yapılan çalışma olduğu görülmüştür. Çalışmada anket 301 İHA pilotunun algısı ve demografik değişkenlere göre farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda ise lojistik sektöründe insansız hava araçlarının kullanılması drone pilotlarının profesyonel algılamalarında demografik değişkenlerin bir farklılığa neden olduğu tespit edilmiştir (Çalışkan ve Erturgut, 2022). Taşımacılık alanında ise Nakıboğlu (2020) tarafından yapılan drone taşımacılığı ve son adım teslimatta kullanımını inceleyen araştırma bulunmuştur. Son adım teslimatta kullanılan drone teknolojisinin zaman, maliyet ve çevresel açıdan birçok avantaj sağlayacağı tespit edilmiştir (Nakıboğlu, 2020).

Yapılan literatür taraması özellikle Türkçe literatürde lojistik, tedarik zinciri ve taşımacılık alanlarında çok az çalışmanın bulunması, drone taşımacılığını uygulamalarıyla birlikte detaylı bir şekilde ele alan bir çalışmanın yerli literatürde bulunmaması bu çalışmanın önemini gösterirken, taşımacılık faaliyetlerinde gelecek yıllarda çok fazla karşımıza çıkacak olan bu teknolojinin dünyadaki uygulamalarıyla anlatılmasının literatüre önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

3. İnsansız hava araçları (İHA)

İnsansız Hava Aracı (İHA) veya İnsansız Hava Aracı Sistemi (UAS) bir insan kontrolünde olmadan otonom olarak veya uzaktan yönlendirilebilen Uzaktan Kumandalı hava aracı olarak bilinir (Glover, 2014). İHA, üzerinde pilot olmadan çalışabilen bir hava aracı olarak tanımlanabilir. Esasen bir İHA, üzerindeki sistemlerin yazılım kontrolü ile uçuş planlarına entegre edilmiş uzaktan kontrol edilebilen veya otonom olarak uçabilen bir robot olarak tariflenebilir (Austin, 2010). İnsansız hava araçları, bir uçağa benzer hafif bir uçan cihazdır; ancak uçaktaki bir pilot tarafından işletilmediği için uçaktan farklıdır (Gupta vd., 2018). Özetle insansız hava araçları “içerisinde pilot bulunmayan, üzerinde amacına uygun olarak çeşitli aletler bulunduran, yerde bulunan bir pilot tarafından kontrol edilen veya önceden planlanan uçuş güzergahında otonom olarak yönlendirilen hava araçları” olarak tanımlanabilir (Kahveci ve Can, 2017). İHA ların hayatımıza girişinin kronolojisi aşağıdaki Tablo 1’de özetlenmiştir:

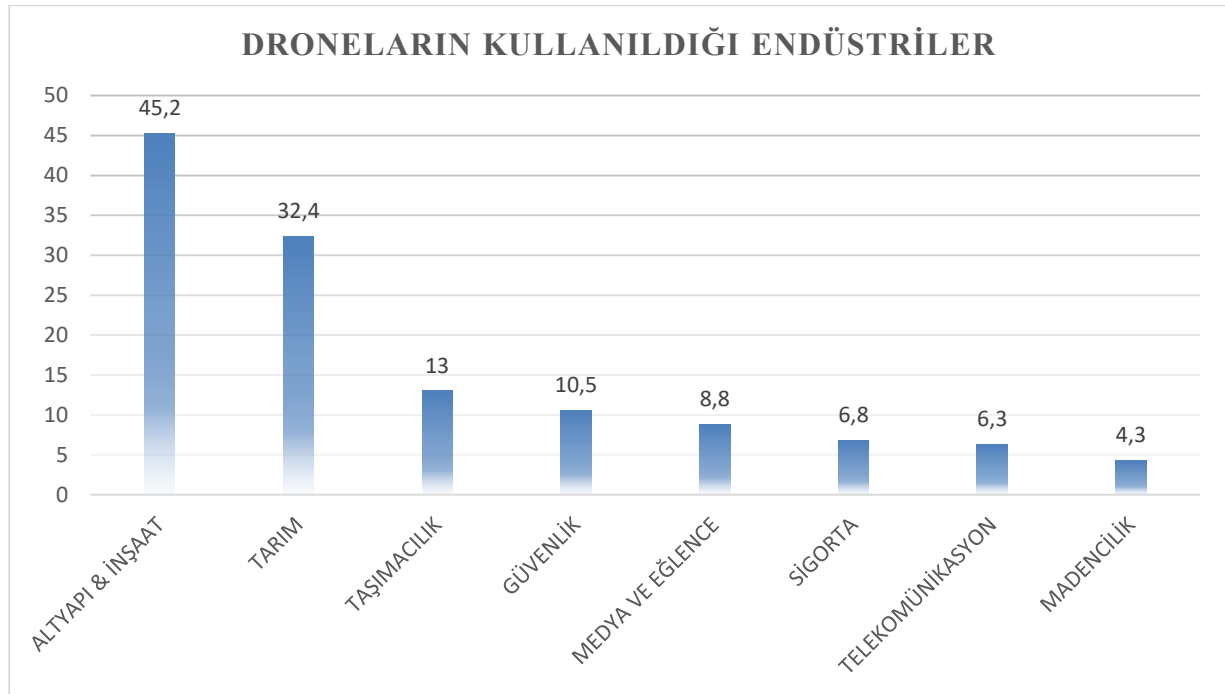
Tablo 1. İHA'ların tarihsel gelişimi (Garg, 2021).

Yıl	Gelişim Süreci
1782	İlk insansız araç uçuşu Montgolfier Kardeşler tarafından gerçekleştirildi.
1800'ler	“Kameralı” ilk drone, 19. yüzyılın sonunda kullanıldı.
1849	22 Ağustos 1849'da Avusturyalılar ilk kez İHA kullanarak patlayıcı yüklü insansız balonlarla Venedik'e saldırdılar.
1894	İnsansız Balonlar Avusturyalılar tarafından kullanıldı.
1898	Nikola Tesla, motorları açıp kapatmak için radyo frekanslarını kullanarak sözlü komutla yön değiştiren küçük bir insansız tekne icat etti ve Madison Square Garden'daki bir sergide sundu.
1915	Neuve Chapelle Savaşı sırasında, İngiliz Ordusu, bölgedeki Alman siperlerinin yaklaşık 15.000 gökyüzü görünümü haritasını yakalamak için havadan görüntüler kullandı.
1916	Birinci Dünya Savaşı sırasında, ilk İHA Amerika Birleşik Devletleri'nde uçtu; İHA'nın test uçuşundaki başarısı çok iyi olmasa da savaşta potansiyellerini ortaya koydu.
1917	Fransız topçu subayı Rene Lorin, uçan bombalar kullanımını önerdi.
1920	Elmer Sperry ilk kontrollü etkinleştirme teknolojisini kullanarak uçuş kontrolünü mümkün kılar.
1920	İnsanlı quadcopter'lar ilk olarak denendi, ancak o sırada mevcut olan teknoloji tarafından etkinlikleri engellendi.
1920	Etienne Oemichen, dört rotorlu ve sekiz pervaneli bir tasarım gerçekleştirdi; hepsi tek bir motorla çalıştırıldı ve 1000'in üzerinde başarılı uçuş kaydedildi. İlk kaydedilen mesafe 1924'te bir helikopter için 360 m idi.
1935	İlk kullanılan drone olan “De Havilland Dh82b Queen Bee” icat edildi.
1941	ABD tarafından ilk büyük ölçekli drone üretimi Reginald Denny tarafından başlatıldı.
1943	Alman Ordusu, dört küçük kanatlı ve 1362 kg ağırlığında bir radyo kontrol cihazına sahip bir bomba olan FX-1400 veya “The Fritz X”'in açılışını yaptı. İlk uzaktan kumandalı mühimmat operasyonel kullanıma sunuldu ve bu güdümlü hava silahları için büyük bir atılım olarak yer aldı.
1958	Curtis Wright şirketi Curtis Wright VZ-7'yi ABD Ordusu için tasarladı. Bu tasarım uçuşu kontrol etmek için dört pervanede değişken itme kullanan ve pilotun iş yükünü basitleştiren önemli bir buluştu.
1960lar	İHA'lar Vietnam Savaşında kullanıldı. Uzaktan kumandalı savaş araçları bu savaşta yeni bir rol üstlendiler.
1970ler	Bu süre zarfında İsrail, pilotsuz iki gözetleme makinesi, MASTIFF UAV ve IAA Scout geliştirdi. Ayrıca, İHA'ların başarısı Vietnam Savaşı'nın sonuna kadar devam etti. 1970'lerde ABD gözünü diğer İHA türlerine dikerken, diğer ülkeler kendi gelişmiş İHA sistemlerini geliştirmeye başladı.
1982	Askeri operasyonlarda İHA kullanımı yaygınlaştırıldı. İsrail, Suriye ile düşmanlıkların patlak vermesinde Sovyet uçaksavar teknolojisini, bir insansız uçak sürüsü ile konumunu ortaya çıkardı.
1985	ABD'nin Grenada, Lübnan ve Libya operasyonlarında İHA'lar kullanıldı.
1986	Orta ölçekli bir insansız keşif uçağı olan “RQ2 Pioneer”ı ABD ve İsrail ortak bir projeye üretmeye başladılar.
1990	Minyatür ve Mikro İHA'lar araştırmaların önemli bir parçası haline geldi ve kısa sürede harekete geçti.
2000	Predator Drone ilk olarak Afganistan'da konuşlandırıldı.
2005	İlk ticari multikopter Almanya'da Microdrones tarafından geliştirildi.
2006	Drone kullanımı yaygınlaşıyor.
2010	Tüketiciler için akıllı telefon kontrollü bir quadcopter olan Parrot AR Drone, Las Vegas'taki Tüketici Elektronikleri Fuarı'nda tanıtıldı.

Tablo 1. İHA'ların tarihsel gelişimi (devamı)

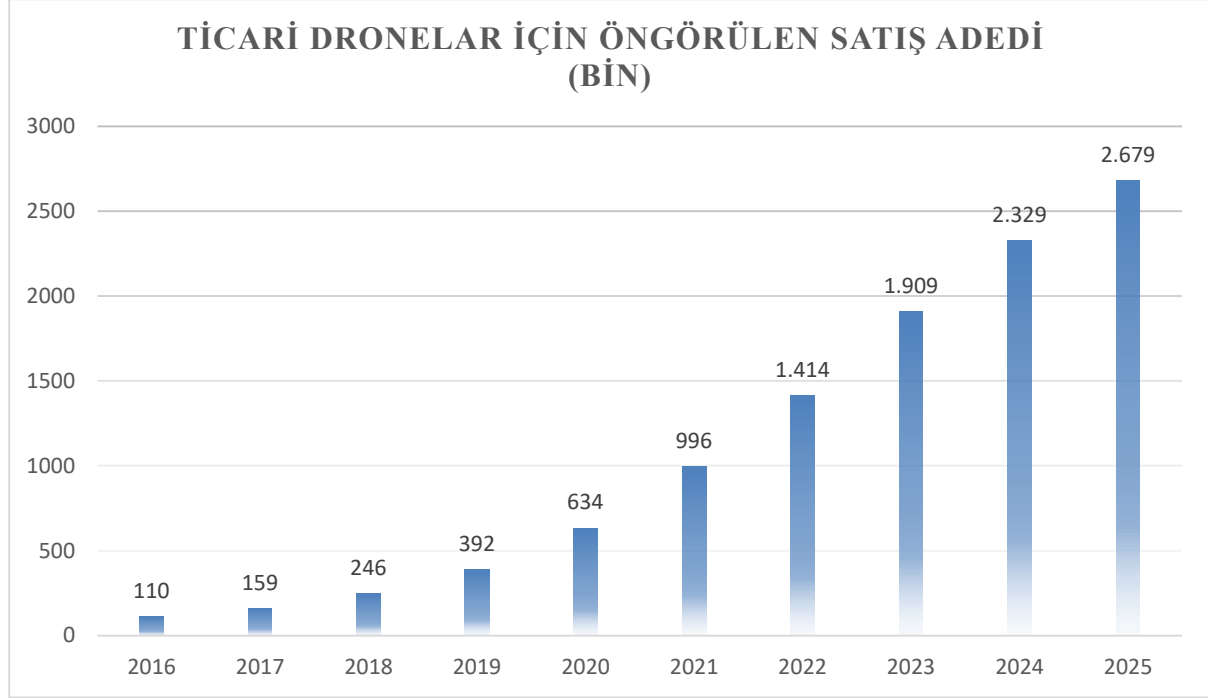
2012	Federal Havacılık İdaresi (FAA), küçük dronları 2015 yılına kadar ulusal hava sahasına entegre edilmesini istedi.
2013	Teslimat faaliyetleri için ticari dronların kullanılması planlandı.
2014	Drone, Amazon tarafından ilk kez 2014 yılında teslimat için kullanıldı. Ayrıca FAA, film ve TV prodüksiyon şirketlerine drone kullanımı için bir muafiyet tanıdı.
2016	2016 Amazon, ilk Prime Air paketini Cambridge, İngiltere'de teslim etti.
Günümüz	Geçtiğimiz 10 yılda, DJI Phantom ve Parrot AR drone da dahil olmak üzere birçok küçük gelişmiş quadcopter pazara girdi. Askeri alanda çok fazla kullanılan İHA'lar, yeni üretilen dronların ucuz, kullanışlı ve uçuş kontrolü daha rahat olduğu için sivil ve ticari alanda da çok fazla kullanılmaya başlandı.

İHA'ların tarihsel gelişimine bakıldığında askeri alanda istihbarat toplanılması, uçaksavar ve silah olarak kullanımıyla hayatımıza girdiği görülmektedir. Bu teknolojinin 2000'li yıllardan itibaren askeri kullanımının yanı sıra sivil ve ticari hayatta kullanılmaya başlandığı ve her geçen gün kullanımının artarak gelecekte de önemli bir noktada olacağı düşünülmektedir.

**Şekil 1.** Drone teknolojisinin kullanıldığı endüstriler. (Statista, 2016).

İHA'ların faaliyet alanları incelendiğinde havacılık, askeri alan faaliyetleri, havadan ölçme, kolluk kuvvetleri, arama ve kurtarma, madencilik, koruma, kirlilik izleme, ölçme, petrol, gaz ve maden arama ve üretimi, afet yardımı, arkeoloji, kargo taşımacılığı, tarım, hassas tarım, inşaat, yolcu taşımacılığı, suç ve terör faaliyetlerinin izlenmesi, sinema filmi yapımı, hobi ve eğlence, gazetecilik ve ışık gösterisi gibi çok sayıda alanda uygulamaları olduğu görülmektedir (Ayrancı, 2017). Drone teknolojisinin en fazla kullanıldığı faaliyet ve sektörlerin başında inşaat ve altyapı sektörü gelirken (%45,2), bunu tarım sektörü (%32,4) ve taşımacılık sektörü (%13,0) takip etmektedir. Bu sektörleri sırasıyla güvenlik, medya ve eğlence, sigorta, telekomünikasyon ve madencilik sektörleri takip etmiştir. Drone kullanımının taşımacılık faaliyetlerinde son yıllarda oldukça fazla kullanıldığı ve gelecekte pazar payının daha da artacağı görülmektedir. İHA'ların kullanımları, gerçek zamanlı izleme, kablosuz kapsama alanı sağlama, uzaktan algılama, arama ve kurtarma, mal teslimi, güvenlik ve gözetim, hassas tarım ve sivil altyapı denetimi dahil olmak üzere birçok sivil alanda da yaygınlaşmaktadır (Taladay, 2018). 3D modelleme, nesnelerin interneti, yapay zeka ve artırılmış gerçeklik (AR) gibi gelişen teknolojilerin yanı sıra Sanal Gerçeklik uygulamalarıyla birleştiğinde,

kuruluşların operasyonları boyunca İHA ve ilişkili teknolojilerin kullanımından kaynaklı yeni fırsatların ve fayda sağlayıcı uygulamaların hayata geçirileceği düşünülmektedir (Dupont vd., 2016).



Şekil 2. Ticari drone pazar büyümesi. (Statista, 2019).

Gerek gelişen drone teknolojileri gerekse faaliyet alanı çeşitliliğindeki hızlı genişleme gelecek 5 yılda İHA'ların birçok ticari faaliyette, geleneksel operasyon yöntemlerinin yerini geçebileceği öngörülmektedir. Daha az insan operasyonu ve güvenlik altyapısı ile İHA ve dronelar, işin süresini ve maliyetlerini ciddi oranda düşürmektedirler. Ayrıca, şirketlerin işletme performansını daha iyi anlamalarını ve tahmin etmelerini sağlayan veri analitiği geliştirmelerine katkı sağlamaktadırlar. İHA'ların operasyon maliyetini düşürmesi, bu teknolojinin entegrasyonun kolay olması ve bu sistemler aracılığıyla toplanan bilgilerin değerini artırma yetenekleri, İHA'ların dünya çapında artan oranda benimsenmesinin temel itici güçleri olmuş ve dünyada İHA konusunda sektörde ve devlette farkındalık artışına zemin hazırlamıştır. Şimdiye kadar bahsedilen bu yeni teknolojinin sağlamış olduğu avantaj ve dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Garg, 2021).

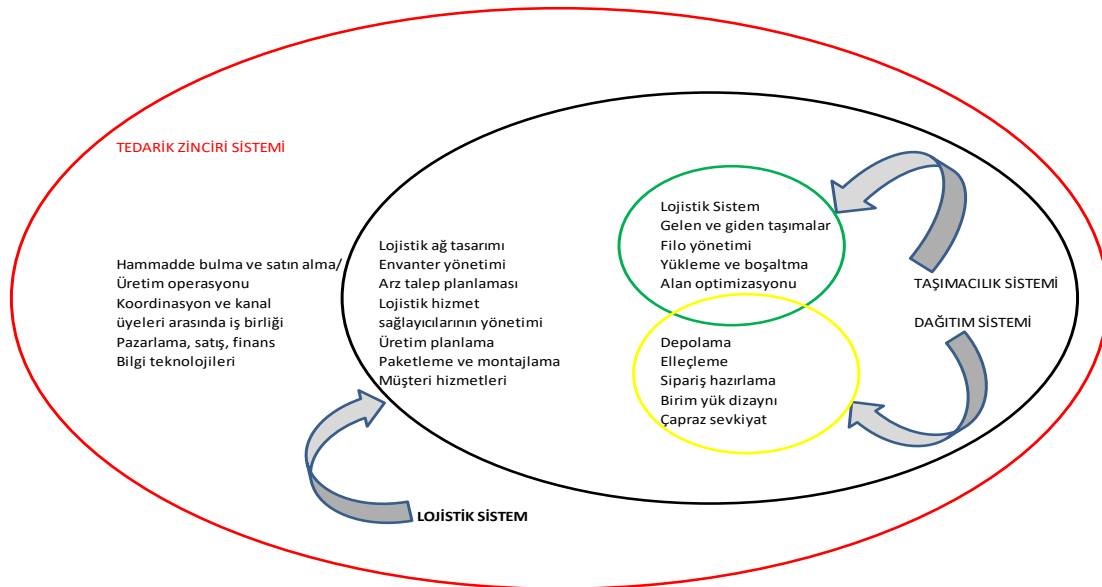
- Askeri istihbarat, gözetleme, keşif ve silah yetenekleri ile engebeli ve zorlu araziler, fiziksel engeller veya tehlikeli saha koşulları nedeniyle operasyonların gerçekleşmediği yerlerde kullanılarak askeri alanda doğrudan katkı sunabilirler.
- İHA'lar, pilotun kullandığı bir hava aracının varlığının riskli olduğu yüksek riskli durumlarda daha güvenli bir yöntem sağlayabilir. Süreçte insan hayatı tehlikeye girmediği için nedensellik riski olmadan zor ve erişilemeyen alanlarda uçuşa izin verebilirler.
- İHA'lar, başta uzak ve tehlikeli sitelere erişimi hızlandırmak, sensör hareketliliği, izleme ve veri toplama hızı olmak üzere birçok sivil uygulamada da avantajlıdır. İHA'lar, özellikle yer hareketinin mümkün olmadığı engebeli topografyaya sahip alanlarda orman yangınlarının izlenmesinde kolaylaştırıcı etki yaratabilir. Bu nedenle, İHA'lar risk yönetimi için oldukça tercih edilen bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Özellikle, İHA'lar, olay sonrası saha erişilebilirliğinin zor olduğu ve yakın tarihli verilerin toplanması ihtiyacının acil olduğu doğal tehlikeleri (örneğin, depremler ve toprak kaymaları) içeren uygulamalar için önemli bir veri toplama aracı olarak kullanılabilir.
- İHA'lar, ulaşılması zor topluluklardaki insanlara hayat kurtaran tıbbi malzemelerin teslim edilmesini sağlayarak çok uzak mesafelerde uçabilir. Bu teknoloji, sağlık çalışanlarının ziyaretlerinin düzenli olmadığı ve mal teslimatı için az gidilen köylere malları teslim etmek için kullanılabilir. İHA'lar, iyileştirilmiş tedarik zinciri performansı yoluyla halk sağlığına anlamlı faydalar sağlayabilirler.

- İHA'lar aracılığıyla, saha araştırmaları ve ölçümü, inşaat ilerlemesi ve 3D haritalama için arazinin gelişmiş görselleştirilmesi yoluyla ölçümün doğruluğu artırılabilir.
- Bu teknoloji, ulaşım, şehir planlaması, mahsul türlerinin sınıflandırılması ve ayrıntılı bilgi gerektiren verim tahmini gibi çoklu uygulamalar için verimli bir mekansal veri toplama yöntemi sağlayabilir.
- İHA'ların diğer bir önemli avantajı da enerji tüketimidir. Pillerle çalışan küçük İHA'lar diğer taşıma araçlarına göre çok daha az enerji tüketmektedir.
- Özetle İHA'ların sağlamış olduğu avantajlar; Güvenlik, maliyet, esneklik, hız, verimlilik, izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik olarak söylenebilir.

İHA'ların dezavantajlarını ele aldığımızda ise düşük manevra kabiliyeti, düşük operasyonel hız, saldırılara karşı savunmasızlık, siber veya iletişim bağlantısı saldırıları, kayıp veri bağlantıları, sınırlı alan kapsamı ve büyük veriyi işlemek için karmaşık bir analiz sisteminin gerekliliği gibi unsurlar sayılabilir. İHA'lar, ölümcül amaçlar, uyuşturucu kaçakçılığı gibi suç faaliyetleri ve terör ağları tarafından üçüncü şahısların kontrolü altında ele geçirildiğinde terörist faaliyetler için kullanılabilir. İHA'lar uygun şekilde eğitilmiş operatörler tarafından çalıştırılmadığında, İHA'ların başarısız olma şansı daha fazladır ve ölümcül kazalara yol açar (Iizuka vd., 2018). Bu nedenle, teknoloji geliştirme, pazar geliştirme ve bunların kamu ve özel taraflarca kullanımında güvenlik, emniyet ve gizlilik endişelerinin dikkate alınması gerekir. Ayrıca yasal düzenlemelerde İHA kullanım koşulları netleştirilmeli ve bu tür cihazların güvenli koşullarda uçurulması sağlanmalıdır (Garg, 2021). Bunlara ek olarak taşıma kapasitesinin sınırlı oluşu, havada kalma sürelerinin kısıtlı olması, iniş kalkış sürecinde oluşan riskler ve olumsuz hava koşullarında uçuş gerçekleştirilmesinin zorlaşmasını dezavantajlar arasında sayabiliriz (Yılmaz, 2019).

4. Taşımacılık

Taşımacılık, genel olarak hammadde ve malzemelerin taşınması, ürünlerin çıkış noktasından tüketim noktasına nakliye yardımı ile dağıtılması sürecidir. Lojistik, tedarik zinciri sistemlerinin bir alt kümesi ve ayrılmaz bir parçasıdır. Taşımacılık sistemi ve dağıtım sistemi ise lojistik sistemin bir alt kümesidir. Malların bir yerden başka bir yere taşınması söz konusu olduğunda, çeşitli teslimat seçenekleri vardır (Sarder, 2020). Taşımacılık karayolu, havayolu, denizyolu, demiryolu ve boru hattı taşımacılığı olmak üzere beş ana moda ayrılmaktadır. Bu modların hepsinin tek tek kullanıldığı gibi birbirleriyle entegre edilerek kullanılması da mümkündür (Saygılı, 2014). Özellikle son dönemlerde pazarda artan rekabet ve verimli hizmet ihtiyacı lojistik işletmelerini taşımacılık türlerinin birbiriyle entegre edilerek yani intermodal taşımacılıkla operasyonlarını gerçekleştirmeleri gerekliliğini doğurmuştur. Lojistik sisteme ait çalışma şeması aşağıda Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Tedarik zinciri sistemlerinde lojistik ve taşımacılık sistemleri (Sarder, 2020).

Karayolu taşımacılığı, ticaretin serbestleştirilmesi nedeniyle son 50 yılda en hızlı büyüyen taşıma türü oldu. Ancak, bu büyüme, petrol yakıt tüketimi ve fiyatlandırma sorunları, artan çevresel problemler, trafik sıkışıklığı ve trafik kazalarından kaynaklanan kayıp ve sorumluluk artışı gibi önemli sorunlara yol açmıştır. Demiryolu taşımacılığı ise genellikle zamana duyarlı olmayan, uzun mesafelere mal taşınması gereken yüklerde tercih edilen bir taşıma şeklidir. Bu taşıma şekli, ucuz, verimli ve çevre dostu olarak kabul edilir. Demiryolu Taşımacılığı, enerji tüketimi açısından 'yeşil' bir sistemdir. Maliyet açısından da diğer taşıma türlerine kıyasla km başına birim yük maliyeti daha düşüktür (Notteboom vd., 1998).

Denizyolu taşımacılığı uluslararası ticarete en popüler taşıma modudur. Dünya ticaretinin ve küreselleşmenin bel kemiği konumundadır. Denizyolu aracılığıyla her türlü yük taşınması gerçekleşmektedir. Yüksek tonajlı yüklerin taşınmasına sağladığı olanak sebebiyle oldukça avantajlı taşıma türlerinin başında gelmektedir (Fulser, 2015). Hava taşımacılığı ise, diğer taşıma türlerine göre her ne kadar daha pahalı olsa da en hızlı ve güvenilir taşıma türlerinin başında gelmektedir. Küreselleşme ve uluslararasılaşma kavramlarının son 20 yılda ticarete yaygınlaşmasıyla ciddi gelişim gösteren taşıma türüdür (Güngör, 2021). Boru hattı taşımacılığı ise üretim alanlarını rafinerilere, kimya fabrikalarına, evlere ve endüstriyel alanlara bağlayan petrol ve doğal gazın taşınması için kritik bir altyapıdır (Shaikh vd., 2017; Chen vd., 2021).

Son dönemlerde adını çok sık duyduğumuz çok modlu taşımacılık kavramı ise literatürde intermodal, kombine taşımacılık vb. kavramlarla karşımıza çıkmaktadır. İntermodal taşımacılık, bir kişinin veya bir yükün çıkış noktasından varış noktasına en az iki taşıma modu ile taşınması olarak tanımlanabilir (Crainic ve Kim, 2007). Çok modlu taşımacılığın farklılaşan müşteri taleplerine yönelik ihtiyaçlara cevap verebilme, işletmelere uluslararası pazarlarda rekabet olanağı sağlama gibi avantajları bulunmaktadır. Taşıma türünün seçimi, taşıma türlerinin entegrasyonu vb. süreçlerin başarıyla gerçekleştirilmesi için iyi bir taşımacılık yönetiminin planlaması ve yönetilmesi zorunludur.

Lojistik faaliyetler içerisinde taşımacılık oldukça büyük önem arz etmektedir. Taşımacılık yönetimi, lojistik taşımacılığın önemli bir parçasıdır ve malların fiziksel hareketlerinin planlanması, yürütülmesi ve optimizasyonu ile ilgilidir. Daha basit bir ifadeyle, teslimat rotası, ulaşım filolarının günlük operasyonları, haritalama, yakıt maliyeti, depolama, iletişim, nakliye araçlarının takibi ve yönetimi, yolcu ve kargo elleçleme, taşıyıcı seçimi, süreci yönetmek ve optimize etmek için muhasebe dahil olmak üzere her türlü nakliye operasyonunun yönetimi ile ilgilidir. Bu operasyonel süreç hammadde aşamasından başlayan ürünün yaşam döngüsü sonlanana kadar devam bir süreçtir (Turğut, 2017).

Taşımacılık karayolu, havayolu, denizyolu, demiryolu ve boru hattı taşımacılığı olmak üzere beş ana moda ayrılmaktadır. Bu modların hepsinin tek tek kullanıldığı gibi birbirleriyle entegre edilerek kullanılması da mümkündür (Saygılı, 2014). Özellikle son dönemlerde pazarda artan rekabet ve verimli hizmet ihtiyacı lojistik işletmelerini taşımacılık türlerinin birbiriyle entegre edilerek yani intermodal taşımacılıkla operasyonlarını gerçekleştirmeleri gerekliliğini doğurmuştur.

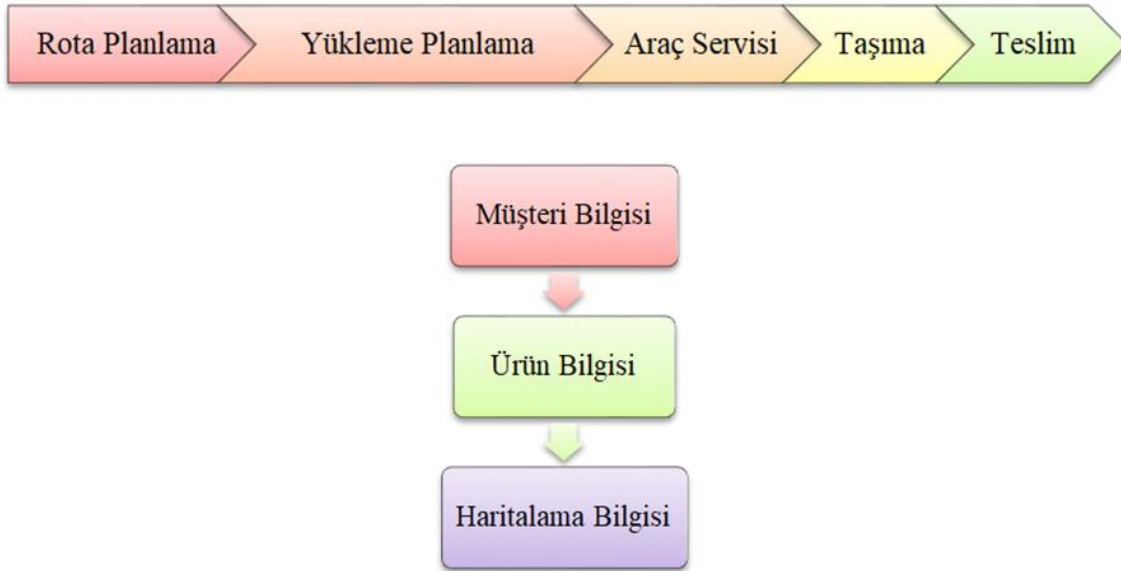
Karayolu taşımacılığı, ticaretin serbestleştirilmesi nedeniyle son 50 yılda en hızlı büyüyen taşıma türü oldu. Ancak, büyük büyüme, petrol yakıt tüketimi ve fiyatlandırma sorunları, artan çevresel problemler, trafik sıkışıklığı ve trafik kazalarından kaynaklanan kayıp ve sorumluluk artışı gibi önemli sorunlara yol açmıştır. Demiryolu taşımacılığı, genellikle zamana duyarlı olmayan, uzun mesafelere mal taşınması gereken yüklerde tercih edilen bir taşıma şeklidir. Bu taşıma şekli, ucuz, verimli ve çevre dostu olarak kabul edilir. Demiryolu Taşımacılığı, enerji tüketimi açısından 'yeşil' bir sistemdir. Maliyet açısından da diğer taşıma türlerine kıyasla km başına birim yük maliyeti düşüktür (Notteboom vd., 1998).

Denizyolu taşımacılığı uluslararası ticarete en popüler taşıma modudur. Dünya ticaretinin ve küreselleşmenin bel kemiği konumundadır. Denizyolu aracılığıyla her türlü yük taşınması gerçekleşmektedir. Yüksek tonajlı yüklerin taşınmasına sağladığı olanak sebebiyle oldukça avantajlı taşıma türlerinin başında gelmektedir (Fulser, 2015). Hava taşımacılığı ise, diğer taşıma türlerine göre her ne kadar daha pahalı olsa da en hızlı ve güvenilir taşıma türlerinin başında gelmektedir. Küreselleşme ve uluslararasılaşma kavramlarının son 20 yılda ticarete yaygınlaşmasıyla ciddi gelişim gösteren taşıma türüdür (Güngör, 2021). Boru hattı taşımacılığı ise üretim alanlarını rafinerilere,

kimya fabrikalarına, evlere ve endüstriyel alanlara bağlayan petrol ve doğal gazın taşınması için kritik bir altyapıdır (Shaikh vd., 2017; Chen vd., 2021).

Son dönemlerde çok sık karşımıza çıkan çok modlu taşımacılık kavramı ise literatürde intermodal, kombine taşımacılık vb. kavramlarla karşımıza çıkmaktadır. İntermodal taşımacılık, bir kişinin veya bir yükün çıkış noktasından varış noktasına en az iki taşıma modu ile taşınması olarak tanımlanabilir (Crainic ve Kim, 2007). Çok modlu taşıma ile farklılaşan müşteri taleplerine yönelik ihtiyaçlara hizmet sunabilme, işletmelere uluslararası pazarlarda rekabet olanağı sağlamaktadır. Taşıma türünün seçimi, taşıma türlerinin entegrasyonu vb. süreçlerin başarıyla gerçekleştirilmesi için iyi bir taşımacılık yönetiminin planlanması ve yönetilmesi zorunludur. İşletmelerin ticari olarak başarıya ulaşabilmelerinin arkasında doğru planlanmış taşımacılık faaliyetleri bulunmaktadır (Bamyacı, 2008).

Taşımacılık yönetimi, lojistik taşımacılığın önemli bir parçasıdır ve malların fiziksel hareketlerinin planlanması, yürütülmesi ve optimizasyonu ile ilgilidir. Daha basit bir ifadeyle, teslimat rotası, ulaşım filolarının günlük operasyonları, haritalama, yakıt maliyeti, depolama, iletişim, nakliye araçlarının takibi ve yönetimi, yolcu ve kargo elleçleme, taşıyıcı seçimi, süreci yönetmek ve optimize etmek için muhasebe dahil olmak üzere her türlü nakliye operasyonunun yönetimi ile ilgilidir. Taşımacılığı oluşturan bileşenler Şekil 2’de gösterilmiştir.



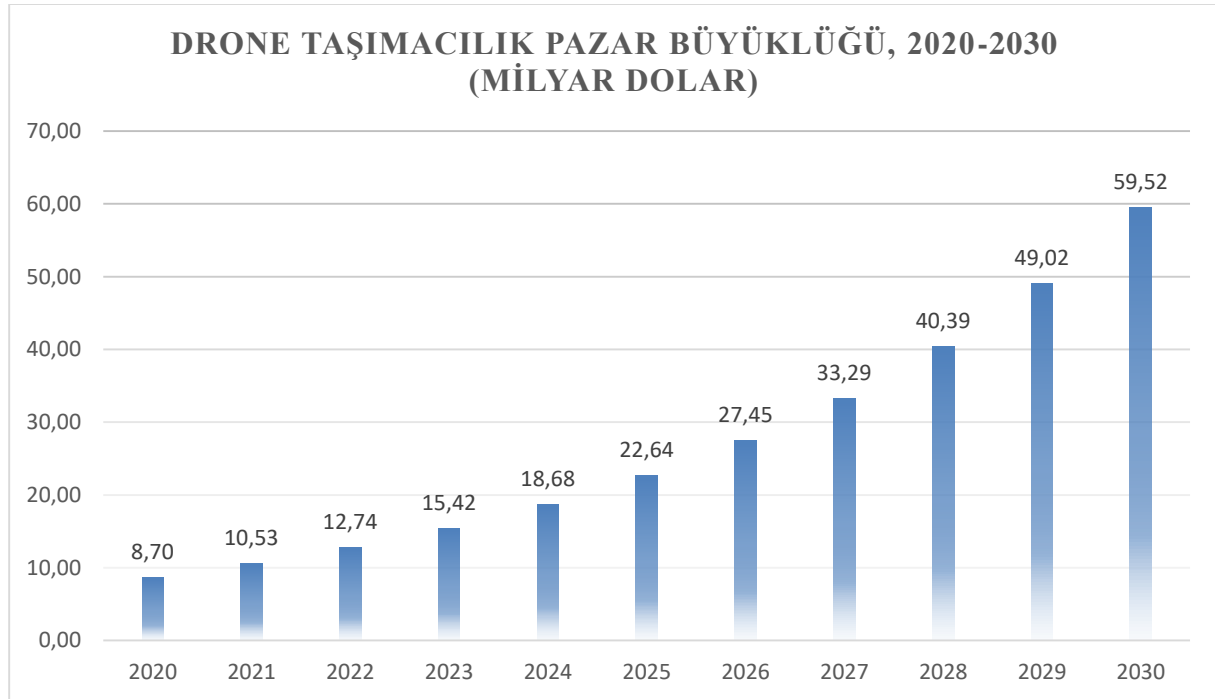
Şekil 4. Taşımacılık süreçlerinin bileşenleri (Sarder, 2020).

Taşımacılık tarihine baktığımızda 1700’lü yıllardan başlayan köklü bir geçmişe dayandığı görülmektedir. Geçmişten bugüne kadar sürekli gelişen ve değişim gösteren taşımacılık faaliyetleri önemli kilometre taşlarını geride bırakmıştır. Taşımacılık tarihindeki bu kilometre taşlarının hızlı trenler ve manyetik trenlerle daha büyük bir ivme kazandığı söylenebilir. Manyetik tren, geleneksel bir trenden daha hızlıdır çünkü tren, ray ile arasında bulunan manyetik bir kuvvet nedeniyle rayın üzerinde yükselebilir ve geleneksel bir tren rayında bulunan sürtünmeyi ortadan kaldırır (Bonsor, 2018). Yine son teknolojiyle ortaya çıkan drone taşımacılığı Walmart, Amazon ve hatta bazı pizza şirketleri gibi tanınmış şirketler tarafından kullanılmaya başlanmış teslimatların hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine ciddi katkılar sağladığı görülmüştür. Bir kısım tedarik zinciri şirketleri çok zaman alan, yüksek verim gerektiren ve pahalı olan veya emek yoğun bazı görevleri önemli ölçüde yerine getiren çok çeşitli rollerde hizmet etmek için insansız hava araçları olarak da bilinen droneleri kullanmaya başladılar. Şuanda kısıtlı alanlarda kullanılan drone taşımacılığının gelecekte yapılacak olan hassas kontroller, GPS haritalama ve uçuş planlama, coğrafi sınır belirleme ve daha büyük taşıma kapasitelerini içeren gelişmiş kapasiteli araçlar ile daha yaygın bir kullanıma sahip olacağı öngörülmektedir (Sarder, 2020).

5. Drone taşımacılığı ve uygulamaları

Dünya ekonomisinin küreselleşmesi ve bununla bağlantılı süreçler, özel teslimat ve depolamada dahil olmak üzere, dünya hava taşımacılığı ve yük taşımacılığı pazarlarının genel yapısını büyük ölçüde etkilemiştir. Bununla birlikte, freight forwarder şirketleri müşterinin mal teslimine yönelik talepleri, özellikle kapsamlı hizmetler açısından, teslimat yönetimi, sevkiyat işleme, formaliteler, kargo toplama ve konsolidasyon vb. konularda hizmet yelpazesini önemli ölçüde genişlettiler (Marintseva vd., 2019). İşletmeler, lojistik sektöründe yanıt verme ve verimlilik için yenilikçi yöntemler benimsemektedir. Drone'ların lojistik sektöründe taşımacılık faaliyetlerinde uygulanması bu yönde gerçekleşen önemli bir hamledir (Sah vd., 2021).

Son yıllarda, e-ticaret işletmeleri, teslim edilecek günlük paket hacminde ve özellikle talepkar müşteri beklentilerinin sayısında ciddi artışlar yaşadı. Bu bağlamda, teslimat mekanizması, özellikle son kilometre için son derece pahalı hale geldi. Rekabetçi kalmak ve artan talebi karşılamak için işletmeler, lojistik endüstrisi için gelecek vaat eden bir alternatif olan otonom insansız hava araçları/dronlar gibi son km için yenilikçi otonom teslimat seçenekleri aramaya başladı. Drone'ların gözetim ve uzaktan algılamadaki başarısının ardından, teslimat maliyetlerini ve teslimat süresini azaltmak için drone teslimat sistemleri yeni bir çözüm olarak ortaya çıkmaya başladı. Önümüzdeki yıllarda otonom drone paylaşım sistemlerinin sektör için kaçınılmaz bir lojistik çözüm olacağı düşünülmektedir (Benarbia ve Kyamakya, 2021).



Şekil 5. Drone taşımacılığının yıllara göre pazar büyüklüğü. (Precedence Research, 2020)

Drone taşımacılığının pazar büyüklüğü ile ilgili Precedence Research adlı araştırma kuruluşunun 2020 yılında yayınlamış olduğu rapor incelediğinde, 2022 yılında 12,7 milyar dolarlık bir pazar payı olan sektörün 2030 yılına gelindiğinde 60 milyara yakın bir pazar büyüklüğü olacağı tahmin edilmektedir. Bu rakam pazar büyüklüğünün her geçen sene hızla artacağını ve bu taşıma şeklinin gelecekte pazarda söz sahibi taşımacılık modlarından birisi olacağını net bir şekilde göstermektedir.

Drone taşımacılığı, lojistik endüstrisindeki çeşitli uygulamalar için gelecekte yaygın bir ulaşım şekli olarak kabul edilmektedir. Drone'ların geleneksel araçlara göre sabit ve yüksek seyahat hızı, fiziksel yol altyapısına ihtiyaç duymaması, seyahatin doğrudan olması ve trafiğe maruz kalmaması bu taşımacılığı öne çıkarmaktadır. Drone taşımacılığıyla birlikte lojistik işletmelerin teslimat sürelerini azalttıkları ve lojistik sistemlerin yanıt verebilme yeteneğini arttırdığı gözlemlenmektedir (Jawadi ve Winkenbach, 2021).

Artan kent içi trafiğin önlenmesinde, e-ticarette hızlı büyümenin getirdiği sorunların çözümünde ve sıkışan iş süreçlerinde özellikle büyükşehirlerde drone taşımacılığı pozitif katkılar sunmaktadır. Öte yandan, kırsal alanlarda genellikle az gelişmiş yol altyapısı bulunan ve altyapı iyileştirmeleri için kaynakların sınırlı mevcudiyetinin bulunduğu yerlerde, özellikle tıbbi malzeme ve acil durum için paketlerin kırsal dağıtımını için drone uygulamaları bir dizi çözümler sunmuşlardır kullanım (Javadi ve Winkenbach, 2021).

Drone teslimatının ana avantajlarından birisi de hızdır. Drone'lar, yol altyapısından veya trafik sıkışıklığından etkilenmedikleri için taşımacılıkta önemli olan bu engellerin üzerinden uçarak teslimatlarını gerçekleştirirler. Drone'lar, paketleri çıkış noktasından varış noktasına en uygun rota üzerinden teslim edebilir ve teslimat süresi doğru bir şekilde tahmin edilebilir. Bu nedenle, dronelar yalnızca son derece hızlı teslimat hizmeti sunmakla kalmaz, aynı zamanda müşterilerin istediği yere ve zamanda teslimat yapmak için gereken esnekliği de sunar (Yoo vd., 2018).

Bunlara ek olarak, taşımacılık sektörü, hava, su kirliliği ve küresel ısınmaya etki etmesiyle birlikte çok sayıda çevresel sonucu olan sera gazlarının yayılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, son kullanıcı teslimatlarında drone paylaşım sistemlerinin kullanılması, emisyonların azaltılmasına ve fosil yakıt enerji kaynaklarının kullanımının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Çok daha düşük karbon ayak izine sahip olması beklenen drone tabanlı dağıtım sistemleri, kısa mesafeler için otomobil/motosiklet kullanan mevcut sistemlerin önemli bir bölümünün yerini alma potansiyeline sahiptir. Ayrıca drone tabanlı teslimat, özellikle yol ağının şu anda aşırı kullanıldığı yerlerde trafik sıkışıklığını ve kaza sayısının azalmasına ciddi katkılar sunacaktır (Benarbia ve Kyamakya, 2021).

Drone teslimat teknolojisini geliştirmek için önemli çabalar harcanmasına rağmen, sınırlı uçuş menzili, bürokratik süreçler, hukuki engeller ve dronelerin taşıma kapasitesi gibi drone teslimatlarını planlamaya özgü zorluklar drone teslimatında hızlanmayı yavaşlatan önemli engellerin başında gelmektedir (Dorling vd., 2016).

Drone teslimat sürecindeki kritik aşamalardan birisi, taşınan mallar zarar görebileceği için paketin serbest bırakılmasıdır. Belirli yerlere drone inişi (örneğin, platformlar veya “teslimat halıları”) ve öğeyi indirmek için bir paraşüt veya ip kullanımı dahil olmak üzere çeşitli uygulamalara uyacak çok sayıda teknik çözüm geliştirilmiştir (Otto vd., 2018).

Tablo 2. Taşımacılık faaliyetlerinde drone kullanan işletme örnekleri (Javadi ve Winkenbach, 2021).

Firma	Uçuş Mesafesi	Teslimat Zamanı	Ağırlık	Lokasyon
Perakendecilik ve E-ticaret				
Amazon.com	16 km	13 dk.	< 2.27 kg	İngiltere
7-Eleven	1,6 km	< 10 dk.	-	ABD
Flytrex	9.2 km	4 dk.	< 2.72 kg	İzlanda
JD.com	< 100 km	-	5-20 kg	Çin
Rakuten	40 dk.	5 dk.	< 5kg	Japonya
Walmart	10 km	-	< 3kg	ABD
Posta Hizmetleri ve Posta Teslimi				
DHL	8 km	8 dk	2 kg	Almanya
UPS	10 dk.	-	<4.5 kg	ABD
Yemek ve İçecek Teslimatı				
Francesco's	1.6 km	10 dk	-	Mumbai
Pizzeria	-	-	-	-

Tablo 2. Taşımacılık faaliyetlerinde drone kullanan işletme örnekleri (devamı)

Coca Cola	-	-	-	Singapur
Lakemaid	-	-	-	ABD
Domino's	1.6 km	10 dk	-	Yeni Zelanda
Alphabet	10 km	-	1.5 kg	ABD, Avustralya
Orange Leaf	35 dk	-	-	ABD
Flytrex	10 km	4 dk	< 2.72 kg	İzlanda
LaMar	-	-	-	ABD
Foodpanda	5 km	3 dk	2 kg	Singapur
Sağlık ve Acil Servisler				
Matternet	20 km	15 dk	2 kg	Lesotho, Afrika
TUDeft	12 km	1 dk	4 kg	Hollanda
Alphabet	10 km	-	1.5 kg	Avustralya
Flirtey	-	-	-	ABD
HiRO	-	-	9 kg	ABD
Zipline	160 km	1. 15 dk	1.3 kg	Ruanda
Vayu	-	-	23 kg	Madagaskar
Center for Resuscitation Science	3 km	3 dk	0.76 kg	İsveç
Altomedika	50 km	-	3 kg	Rusya
UPS	20 km	-	< 2.27 kg	ABD

Dünyanın en büyük internet perakendecisi olan Amazon 2016 yılında, satın almaları dronelarla teslim etme hizmetini vermeye başladığını duyurdu. Amazon'un duyurmuş olduğu bu hizmetler satın alınan mallar, mevcut en hızlı teslimat hizmeti olan Amazon Prime Now'dan 4 kat daha hızlı olarak 30 dakika içinde müşterilere teslim edilmeye başlandı (Amazon Prime Air, 2016). Dünyanın en büyük lojistik şirketlerinden biri olan DHL, mal tesliminde drone kullanımına yönelik sürekli yeni çözümler geliştiriyor. Şirket uçuş testlerini 2014 yılında gerçekleştirerek, Almanya'nın Nordeich kentinden Almanya'nın Joust adasına ilaç ve temel malzemelerin taşınmasını gerçekleştirdi (Bryan ve Char, 2014). Şubat 2017'de posta devi UPS, dronelar aracılığıyla posta teslimatı gerçekleştirmeye başladığını duyurdu. Bu teslimat aracılığıyla paketler gidecekleri lokasyona kadar gidiyor ve ardından drone'lar ürünleri muhataplarına teslim ediyor (Stewart, 2017). Domino's Pizza, 2016 yılında drone'larla pizza teslimi projelerini kamoyuna tanıttı. Bu proje drone taşımacılığında derinlik ve çeşitlilik açısından etkileyici bir proje olarak yerini aldı (Domino's, 2016).

Flytrex şirketi ise, 2017 yılında İzlanda'nın Reykjavik kentinde bir perakendeci olan AHA ile işbirliği içinde ilk drone dağıtım sistemini hayata geçirdi. Bu sistemle şirket, yiyecek ve gıda için ortalama teslimat süresini araba ile 25 dakikadan drone ile 4 dakikaya indirmeyi başardı. Her bir teslimatın mil başına ortalama maliyetinin ise 0,80 Dolar olduğu tespit edildi (Shivali, 2017; Jawadi ve Winkenbach,

2021). Japon perakende şirketi Rakuten ise Yokosuda'daki bir marketten kıyıda 3 km uzaklıktaki adaya ürün teslimatı gerçekleştirerek drone taşımacılığını faaliyete geçirmiştir. Teslimatın gerçekleştiği adanın arazi yapısı market açmaya uygun olmadığı için böyle bir ihtiyacı gidermeye yönelik kullanılan bu dronelar 5 kg'ya kadar ve 36 km hızla teslimatlarını gerçekleştirebilmektedir. Bu hizmet Japonya'da uzak bir adaya yapılan ilk drone teslimatı hizmeti olarak tarihe geçmiştir (Rakuten, 2019).

Kan örnekleri ve ilaç gibi birçok tıbbi malzemenin küçük boyutu, sınırlı ağırlığı, yüksek değeri ve yüksek aciliyeti göz önüne alındığında, drone'lar bu ürünler için umut verici, verimli bir ulaşım şekli olarak hizmet edebilirler. Örneğin Matternet şirketi, Maseru, Lesotho'daki kliniklerden hastanelere HIV/AIDS testleri için kan örneklerinin dağıtımını için drone'ları kullandı (Wang, 2016; Jawadi ve Winkenbach, 2021). 2016 yılında, Kaliforniya'dan Zipline, Afrika'nın Ruanda eyaletinin hükümetiyle anlaşarak, İHA'lar aracılığıyla donör kanı ve ilaç dağıtımına başladı (Rosen, 2017). Haiti'deki mülteci kampına ilaç teslimatını modelleyen California'dan Matternet firması, 2012 yılında insansız hava araçlarının kullanımını devreye aldı. Bu testler sırasında elde edilen verilere göre, 2 kg'lık kargoyu 10 kilometrelik bir mesafeye ulaştırmanın maliyetinin yüksek olduğunu tespit ettiler (The Guardian, 2013). Daha uzun menzilli taşımalarda avantajlı olduğu tespit edilen drone taşımacılığını Zipline şirketi, Ruanda, Muhanga'daki bir dağıtım merkezine 75 km mesafede bulunan hastanelere günde ortalama 1400 kan örneği taşıyarak mevcut taşıma süreçlerinde yüksek verimlilik sağladı (Ackerman ve Strickland, 2018; Stewart, 2017; Jawadi ve Winkenbach, 2021). Drone taşımacılığıyla arazinin çok zor şartlarda olduğu Ruanda'da nüfusun yüzde 90'ından fazlasına ulaşma imkanı sağlayan Zipline şirketinin bu başarısı ABD başta olmak üzere başka ülkelerde de bu hizmeti kullanma yönünde motivasyon sağladı (Stewart, 2017). Ülkemizde ise bu alanda uygulamalar üzerinde çalışan Posta ve Telgraf Teşkilatı Genel Müdürlüğü (PTT), 7 kg ağırlık ve 20 km mesafeye kadar kargo taşıma gerçekleştirecek proje üzerinde çalışmaktadır (UTİKAD, 2018).

6. Sonuç ve Öneri

Son yıllarda müşterilerin sürekli artan talepleri ve işletmeler arası rekabet göz önüne alındığında tedarik zinciri ve lojistik süreçlerinde droneler gibi çağdaş teknolojileri içeren uygulamalarla mevcut yeteneklerin geliştirilmesi zorunlu bir hal almıştır. Drone teknolojisi işletmelerin yeteneklerini geliştirme açısından oldukça önemli bir hamle olmuştur. Askeri, sağlık, tarım, e-ticaret, gıda vb. sektörlerde kullanılan bu teknoloji taşımacılık faaliyetlerinin de önemli bir uygulaması haline gelmiştir. E-ticaret faaliyetlerinin hızla artması, son teslimatı gerçekleştirecek işletmelere maliyet ve zaman açısından birçok olumsuz unsur yaratmıştır. Son adım teslimatta gerçekleşen bu olumsuz unsurları azaltma açısından drone taşımacılığı umut vaat etmektedir.

Yapılan araştırmada, drone hava araçlarının sivil uygulamalarına yönelik yaklaşımları hakkında bir literatür araştırması sunarak, söz konusu teknolojinin taşımacılık faaliyetlerinde kullanımı incelenmiştir. Yapılan araştırmada özellikle son on yılda taşımacılık faaliyetlerinde işletmelerin bu teknolojiden yararlandığı görülmektedir. İşletmelerin bu teknolojiyi tercihlerinin altında hız, verimlilik, erişilebilirlik ve müşteri memnuniyetinin bulunduğu tespit edilmiştir. Drone kullanımıyla birlikte taşımacılık operasyonlarında maliyetlerin azaldığı, süreçlerin kısaldığı ve insan kaynağına duyulan ihtiyacın azaldığı gibi birtakım olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra henüz devletlerin bu konuda yasal düzenlemeleri devreye almamış olması, büyük ölçekli taşımacılık operasyonlarında kullanılmıyor olması gibi birtakım dezavantajların bulunduğu da görülmüştür. Bu dezavantajlara ilave olarak henüz droneler için bekleme istasyonları olmaması, geri dönüş yükü için planlama yapılamıyor olması, kısıtlı enerji süreleri başka bir tartışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Henüz yeni kullanılmaya başlanılan drone teknolojisinin taşımacılık faaliyetlerindeki payı mevcutta 12 milyar dolar seviyelerindeyken 2030 yılına gelindiğinde rakamın 60 milyar dolar seviyelerinde olması beklenmektedir (Precedence Research, 2020). Bu rakamlar drone taşımacılığının sektörel anlamda pazarda çok hızlı büyüyeceğini ve payını arttıracığını net bir şekilde göstermektedir. Akademik boyutta ise literatür incelendiğinde özellikle ülkemizde dronelerin taşımacılıkta kullanımına yönelik çalışmaların çok sınırlı olması yapılan araştırmanın önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışma ile

birlikte çok hızlı büyüyen drone taşımacılığı ile ilgili literatürde yer alan bu boşluğun doldurulması ve çalışmanın bu alanda çalışma yapacak araştırmacılara rehber olması hedeflenmiştir.

Drone teknolojisinin sivil uygulamaları araştırıldığında daha çok son ürün teslimatı, tarım, mühendislik ve sağlık sektörlerinde kullanımı ön plana çıkmaktadır. Yapılan araştırmada bu teknolojilerde kapasite arttırım çalışmalarının yapıldığı ve yolcu taşımacılığı alanında kullanılması yönünde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışmanın sonucu olarak bu teknolojilerin taşıma kapasitelerinin arttırılması ve yolcu taşımacılığı alanında kullanılması yönünde bir boşluk olduğu görülmektedir. Bütün bu etkenler araştırma sorusu olarak bundan sonraki çalışmalara dahil edilebilir ve bu teknolojilerin özellikle hukuki boyutları, yönetsel boyutları ve sosyal boyutlarının detaylı bir şekilde ele alınması önerilir.

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

Ackerman, E. ve Strickland, E. (2018). *Zipline expands its medical delivery drones across East Africa*. Retrieved from <https://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/zipline-expands-its-medical-delivery-drones-across-east-africa>.

Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Abdullah, A., Gülci, S., ve Öztürk, T. (2016). İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1), 104-118.

Akkamış, M., ve Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.

Amazon prime air. (2016). *First Prime Air Delivery*. Retrieved from <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>.

Austin, R. (2010). *Unmanned Aircraft Systems – UAVs Design, Development and Deployment*, John Wiley and Sons, Ltd.

Ayrancı, Z.B. (2017). Use of Drones in Sports Broadcasting, *Entertainment and Sports Lawyer, Spring*, 33(3), 79.

Bamyacı, M. (2008) Modern Lojistik Yönetimi: Organize Lojistik Bölgeleri İçin Bir Yer Seçim Modeli. Yayımlanmış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Benarbia, T., ve Kyamakya, K. (2021). A literature review of drone-based package delivery logistics systems and their implementation feasibility. *Sustainability*, 14(1), 360.

Bonsor, K. (2018). *How Maglev trains work*. Retrieved from, <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/maglev-train.html>.

Bryan, V., ve Char, P. (2014). *Drone delivery: DHL 'parcelcopter' flies to German isle*. Retrieved from <https://www.reuters.com/article/us-deutsche-post-drones-idUSKCN0HJ1ED20140924?feedType=RSS>.

Çalışkan, T. B., ve Erturgut, R. (2022). Lojistik Faaliyetlerde İha Kullanımı: İha Pilotları Üzerinde Bir Araştırma. *Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-16.

- Cheema, M. A., Ansari, R. I., Ashraf, N., Hassan, S. A., Qureshi, H. K., Bashir, A. K., ve Politif, C.** (2022). Blockchain-based secure delivery of medical supplies using drones. *Computer Networks*, 1-10.
- Chen, C., Li, C., Reniers, G., ve Yang, F.** (2021). Safety and security of oil and gas pipeline transportation: A systematic analysis of research trends and future needs using WoS. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123583.
- Crainic, T. G., ve Kim, K. H.** (2007). Intermodal Transportation. Editors: Barnhart C, Laporte G. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. 14, 467-537, Elsevier, 2007.
- Domino's.** (2016). *Pizza-by-drone a reality with world-first customer deliveries in New Zealand*. Retrieved from <https://www.dominos.com.au/inside-dominos/media/november-2016-pizza-by-drone-a-reality-with-world-first-customer-deliveries-innew-zealand>.
- Dorling, K., Heinrichs, J., Messier, G. G., ve Magierowski, S.** (2016). Vehicle routing problems for drone delivery. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(1), 70-85.
- Dupont, Quentin F.M., Chua, David K.H., Tashrif, Ahmad., ve Abbott, Ernest L.S.** (2016). Potential Applications of UAV Along the Construction's Value Chain, Science Direct, *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.155.
- Fidancı, Y., ve Karabörk, H.** (2019). İnsansız Hava Araçlarının Ormanlık Alanlardaki Karayolu Projelerinde Kullanımı. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 473-485.
- Fulser, B.** (2015). Kombine Taşımacılık ve Türkiye Uygulamaları. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Garg, P. K.** (2021). *Unmanned aerial vehicles: An introduction*. Mercury Learning and Information.
- Ghelichi, Z., Gentili, M., ve Mirchandani, P.** (2021). Logistics for a fleet of drones for medical item delivery: A case study for Louisville, KY. *Computers and Operations Research*, 1-20.
- Glover, John M.** (2014). *Drone University*, DroneUniversity, Edition. ISBN-10: 0692316035; ISBN-13: 978-0692316030.
- Güngör, O.** (2021). İntermodal Taşımacılıkta Lojistik Hizmet Kalitesinin Müşteri Sadakati ve Müşteri Güvenine Etkisi, Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul.
- Gupta, Medha., Bohra, Devender Singh., Raghavan, Raamesh Gowri., ve Khurana, Sukant.** (2018). *A beginners' guide to understanding Drones*, Retrieved from <https://medium.com/@sukantkhurana/a-beginners-guide-to-drones-38d215701c4e>.
- Iizuka, K., Itoh, M., Shiodera, S., Matsubara, T., Dohar, M., ve Watanabe, K.** (2018). Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of postmining sites in Indonesia. *Cogent Geoscience*, 4(1), 1498180.
- Javadi, M. M., Hemmati, A., ve Winkenbach, M.** (2021). A comparative analysis of synchronized truck-and-drone delivery models. *Computers & Industrial Engineering*, 1-20.
- Javadi, M. M., ve Winkenbach, M.** (2021). Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review. *Expert Systems with Applications*, 177, 114854.
- Kahveci, M., ve Can, N.** (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Kaşlı, E.** (2022). Kolluk Uygulamalarında Drone Kullanımı. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(26), 329-340.
- Kavaklı, N.** (2018). Drone'ların Gazetecilikte Kullanımı: Drone Haberciliğinin Olanakları, Zorlukları Ve Sınırları. *Erciyes İletişim Dergisi*, 5(3), 160-172.
- Kekeç, B., Bilim, N., Dündar, S., ve Ghiloufi, D.** (2018). Madencilik faaliyetlerinde insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı, *SETSCI Conference Indexing System*, 3(2018),174-178.

- Kim, M., ve Matson, E. T.** (2017). A cost-optimization model in multi-agent system routing for drone delivery. In *International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 40-51). Springer, Cham.
- Koshta, N., Devi, Y., ve Patra, S.** (2021). Aerial Bots in the Supply Chain: A New Ally to Combat COVID-19. *Technology in Society*, 1-4.
- Liu, J., Guan, Z., ve Xie, X.** (2017). Truck and Drone in Tandem Route Scheduling under Sparse Demand Distribution. *Fundamental Funds for Humanities and Social Science*, 1-5.
- Marintseva, K., Yun, G., ve Vasilenko, I.** (2021). Delivery of special cargoes using the unmanned aerial vehicles. In *Research Anthology on Reliability and Safety in Aviation Systems, Spacecraft, and Air Transport* (pp. 1564-1587). IGI Global.
- Merkert, R., ve Bushell, J.** (2020). Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control. *Journal of Air Transport Management*, 1-10
- Mualla, Y., Bai, W., Galland, S., ve Nicolle, C.** (2018). Comparison of Agent-based Simulation Frameworks for Unmanned Aerial Transportation Applications. *Procedia Computer Science*, 791-796.
- Nakıboğlu, G.** (2020). Drone Taşımacılığı ve Son-Adım Teslimatta Kullanımı. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(2), 285-298.
- Notteboom, T., Rodrigue, J.-P., ve Slack, B.** (1998). *The geography of transportation systems*. Available Retrieved from https://transportgeography.org/wp-content/uploads/GTS_Third_Edition.pdf.
- Nyaaba, A. A., ve Ayamga, M.** (2021). Intricacies of medical drones in healthcare delivery: Implications for Africa. *Technology in Society*, 1-8.
- Osakwe, N. C., Hudik, M., Riha, D., Strosf, M., ve Ramayah, T.** (2022). Critical factors characterizing consumers' intentions to use drones for last-mile delivery: Does delivery risk matter? *Journal of Retailing and Consumer Services*, 1-11.
- Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., ve Pesch, E.** (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 72(4), 411-458.
- Özgülven, M. M., Altaş, Z., Güven, D., ve Arif, Ç.** (2022). Tarımda Drone Kullanımı ve Geleceği *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 64-83.
- Precedence Research** (2020). *Drone Logistics and Transportation Market Size, Share, Growth Analysis*. Retrieved from <https://www.precedenceresearch.com/drone-logistics-and-transportation-market>.
- Raj, A., ve Sah, B.** (2019). Analyzing critical success factors for implementation of drones in the logistics sector using grey-DEMATEL based approach. *Computers & Industrial Engineering*, 1-12.
- Rakuten** (2019). *Rakuten's New Island-Hopping Drone Delivery Service*. Retrieved from <https://rakuten.today/blog/island-hopping-drone-delivery-service.html>.
- Rosen, J. W.** (2017). *Zipline's Ambitious Medical Drone Delivery in Africa*. Retrieved from <https://www.technologyreview.com/s/608034/blood-from-the-sky-ziplines-ambitious-medical-drone-delivery-in-africa/>.
- Sah, B., Gupta, R., ve Bani-Hani, D.** (2021). Analysis of barriers to implement drone logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(6), 531-550.
- Sarder, M. D.** (2020). *Logistics transportation systems*. Elsevier.
- Saygılı, M. S.** (2014). Intermodal Taşımacılığın Maliyet Avantajları: Karayolu-Denizyolu Entegrasyonu Üzerine Bir Araştırma. *Öneri Dergisi*, 11(41), 203-214.
- Shaikh, F., Ji, Q., Shaikh, P. H., Mirjat, N. H., ve Uqaili, M. A.** (2017). Forecasting China's natural gas demand based on optimised nonlinear grey models. *Energy*, 140, 941-951.

Shivali (2017). *Look out for flying pizzas in Reykjavik! World's first drone delivery service launches in Iceland's capital*. Retrieved from <https://www.cnn.com/2017/08/22/worlds-first-drone-delivery-service-launches-in-iceland.html>

Škrinjar, J. P., Škorput, P., ve Furdić, M. (2018). Application of unmanned aerial vehicles in logistic processes. *In International Conference "New Technologies, Development and Applications"* (pp. 359-366). Springer, Cham.

Statista (2016). *The Industries Where Drones Could Really Take Off*. Retrieved from <https://www.statista.com/chart/5729/the-industries-where-drones-could-really-take-off/>

Statista (2019). *Commercial Drones are Taking Off*. Retrieved from <https://www.statista.com/chart/17201/commercial-drones-projected-growth/>

Stewart, J. (2017). *Blood-carrying, Life-saving Drones Take off for Tanzania*. Retrieved from <https://www.wired.com/story/zipline-drone-delivery-tanzania/>.

Taladay, K. (2018). Pros and Cons of Using Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Generating Geospatial Data: Case Studies from Hawai'i. *HIGICC O'ahu Geospatial Expo 2018 Conference*, DOI: 10.13140/RG.2.2.10224.35847.

The Guardian. (2013). *Flying aid drones tested in Haiti and Dominican Republic*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/global-development/2013/jan/09/flying-aid-drones-haiti-dominican-republic>.

Turğut, M. (2017). Uluslararası Ticarete Lojistik Köylerin İhracat Sürecine Etkileri: Konya İli Örneği, Yayınlanmıştır Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

Türkseven, S., Kızmaz, M. Z., Tekin, A. B., Urkan, E. ve Serim, A. T. (2016). Tarımda dijital dönüşüm; insansız hava araçları kullanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 12(4), 267-271.

UTİKAD (2018). *Ptt 'Drone' İle 20 Km'ye Kadar Kargo Taşıyacak*. Retrieved from <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/24738/ptt-%E2%80%98drone--ile-20-km-ye-kadar-kargo-tasiyacak>

Wang, D. (2016). *The economics of drone delivery*. Retrieved from <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/drones/the-economics-of-drone-delivery>.

Yılmaz, Ü. (2019). İnsani Yardım Lojistiği Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları. *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (2), 43-54.

Yoo, W., Yu, E., ve Jung, J. (2018). Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt. *Telematics and Informatics*, 35(6), 1687-1700.

Zhu, T., Boyles, S., ve Unnikrishnan, A. (2022). Two-stage robust facility location problem with drones. *Transportation Research Part C*, 1-22.

Research Article

Security Control Process Modeling During the Covid-19 Pandemic: Example Of Esenboğa AirportEmre Karsigil^{1*}, Savas Selahattin Ates²¹ Department of Aviation Management, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey² Department of Aviation Management, Faculty of Aviation and Space Sciences, Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey*Correspondence: ekarsigil@erbakan.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1085557

Abstract: Airport facilities are places where constantly updated measures, regulations and improvements are implemented. Simulation modeling plays an important role in ensuring the high efficiency and user friendliness of such arrangements. Especially in recent years, simulation has become an indispensable need for the aviation industry. Contrary to traditional theories, the simulation approach reveals a more realistic system behaviour analysis. One of the most important operations carried out at airports is undoubtedly the security checkpoints. Simulation of airport security checkpoints is the basis for more efficient use of these service points, improving the service level, identifying bottlenecks in the system and producing solutions. In this study, it is aimed to calculate the delay and queue data created by the precautions and regulations applied in the Esenboğa Airport terminal building after the Covid-19 pandemic, at the security checkpoint after the visa checkpoint. In the study, it is aimed to determine the problems that can be caused by the precautions and regulations taken in airport security by modeling the security control process after the Covid-19 pandemic by using the simulation method. The simulation model was created by taking expert opinions in accordance with the operation carried out at the airport. Finally, the results of the simulation model were evaluated, and suggestions were made to the airport stakeholders.

Key words: Airport Management, Simulation, Covid-19, Airport Security Screening Process.

Covid-19 Pandemisi Sırasında Güvenlik Kontrol Süreci: Esenboğa Havalimanı Örneği

Özet: Havalimanı tesisleri, sürekli güncellenen önlem, düzenleme ve iyileştirmelerin uygulandığı yerlerdir. Simülasyon modellemesi, bu tür düzenlemelerin yüksek verimliliğini ve kullanıcı dostu olmasını sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda simülasyon, havacılık sektörü için vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Simülasyon yaklaşımı, geleneksel teorilerin aksine daha gerçekçi bir sistem davranış analizi ortaya koymaktadır. Havalimanlarında gerçekleştirilen en önemli operasyonlardan biri de kuşkusuz güvenlik kontrol noktalarıdır. Havalimanı güvenlik kontrol noktalarının simülasyonu, bu hizmet noktalarının daha verimli kullanılmasına, hizmet seviyesinin iyileştirilmesine, sistemdeki darboğazların belirlenmesine ve çözüm üretilmesine temel oluşturmaktadır. Bu çalışmada Covid-19 pandemisi sonrası Esenboğa Havalimanı terminal binasında uygulanan tedbir ve yönetmeliklerin vize kontrol noktası sonrası güvenlik kontrol noktasında oluşturduğu gecikme ve kuyruk verilerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmada, simülasyon yöntemi kullanılarak Covid-19 pandemisi sonrası güvenlik kontrol süreci modellenerek havalimanı güvenliğinde alınan önlem ve düzenlemelerin yol açabileceği sorunların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Simülasyon modeli, havalimanında gerçekleşen operasyona uygun olarak uzman görüşleri alınarak oluşturulmuştur. Son olarak simülasyon modelinin sonuçları değerlendirilerek havalimanı paydaşlarına önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Havalimanı Yönetimi, Simülasyon, Covid-19, Havalimanı Güvenlik Tarama Süreci

* Corresponding author: Emre KARSIGIL.

E-mail address: ekarsigil@erbakan.edu.trORCID: 0000-0001-6243-9746¹, 0000-0003-2462-0039²

Received 10.03.2022; accepted 31.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Introduction

In former times, the aviation industry has been affected by viruses that spread regionally among humans. However, COVID-19 pandemic unexpectedly had such a large impact on the functioning of air transport. When large clusters of COVID-19 cases in Europe were identified as of March 2020, initial restrictions were placed on crossing borders, followed by the suspension of international and intercontinental flights (Kierzkowski and Kisiel, 2020). With the impact of the pandemic, compared to year of 2019, there was 50% decrease in the number of seats offered by airlines in 2020 compared to 2019 (66% in international flights, 38% in domestic flights), 60% in the number of passengers (1.38 billion passengers on international flights, 1.3 billion passengers on domestic flights) and therefore, there was a loss of 371 billion dollars in airline revenues (251 billion dollars in international flights, 120 billion dollars in domestic flights) (ICAO, 2020). On a global scale, there was a 60% loss in the number of passengers, 64.2% in airport passenger traffic and 65% in revenues. Moreover, according to ICAO (International Civil Aviation Organization) (2020), there was a decrease of 9.2% in the trade volume and around 4% in the gross national product (GDP). In Turkey, compared to 2019, the decrease has taken place on 45% in the number of flights, 58% in transit flights (Overflight), 50.5% in the number of domestic passengers, 70.5% in the number of international passengers and 90.7% in the number of direct transit passengers. A loss of 40% was experienced in the cargoes carried on domestic lines and 41.6% on international lines (GDSAA, 2020). It is stated that the recovery in the aviation sector will be in the second quarter of 2021 in Europe and its upward trend will be in the third quarter (ICAO, 2020).

Since the first known hijacking in 1931, the aviation industry has been the target of terrorist attacks. Especially in the past two decades, aviation security has become a high priority issue of national concern and concern. The events of September 11 led to fundamental changes in many operational and aviation security policies at all commercial airports (Nikolaev et al., 2011). Skorupski and Uchronski (2016) stated that transport systems adopted from critical infrastructure parts are constantly at risk of terrorist attacks and airport terminals are a frequent target for these attacks, despite being closely protected. In addition, it was stated that airports are the only places to detect and prevent the carrying of explosives or weapons to aircraft. Besides, the attempt to actively respond to the terrorist threat takes place at security checkpoints carried out at airports. The tools and equipment used during the control of personal security, which is one of the most basic methods of preventing illegal acts, is very important to prevent the methods used by all terrorists in the world. Wang (2016) emphasized that the increase in terrorist attacks in recent years has made the security screening of airline passengers an important feature of air travel. Additionally, the primary purpose of passenger and baggage screening within the aviation security control system is to prevent prohibited substances from entering the airport terminal and boarding a commercial aircraft, and that it is important that security screening procedures must have a high degree of reliability, as the potential loss of life and aircraft is substantial. Pendergraft et al. (2004) stated that security measures allow community to continue their lives normally in an increasingly dangerous world. It has been highlighted that while security measures have become a standard part of daily life due to increasing dangers, they also return to society as discomfort and delay in terms of airport operations. In response to these concerns, it was stated that the passenger control process should be designed to minimize inconvenience to community.

A pre-screening system is used to help quantify the risks to passengers in aviation security operations. This risk information is then used to make decisions about how each passenger and their baggage should be screened within security checkpoints. Due to limited budget and scan device resources, only a fraction of passengers can be screened at the highest security levels. The reason for this is that it requires more time and cost for existing identification systems to identify high-risk objects (Wang, 2016). Also, Pendergraft et al. (2004) mentioned the necessity of adequate number of personnel and checkpoint equipment such as X-ray devices required to carry out standard procedures at control points. It was stated that the need for additional personnel to distribute the density and the queue at the busiest times and the waiting time at the check-in counters affect the required time and waiting time at the security checkpoints. In this study, first of all, additional measures, and practices regarding the scanning processes at the security checkpoints in the airport terminal buildings after the Covid-19 pandemic were put forward. In the next stage, the security control process after the passport control point at the international terminal of Ankara Esenboğa Airport was modelled with the simulation method, and it was

examined whether the existing capacity at this point was met with the new measures and applications put into effect.

2. Literature Review

Pendergraft et al. (2004) aimed to create analytical support for the airport by focusing on resource requirements, process performance, customer satisfaction and cost aspects for the simulation, which was rapidly developed and put into practice for the airport after the September 11 attacks. It has been observed that a change in any of these areas significantly affects other areas. It has been stated that all these policies have a cost effect, and that policy evaluations have both cost and operational effects. The created simulation has succeeded in adequately describing and predicting the effects of system changes. No formal verification process is used to validate the model, depending on the allowed timeframes; however, the simulation has been noted to be able to accurately imitate the checkpoint performance under several different scenarios. The overall successful checkpoint process of the model was observed to be crucial to the redesign, providing valuable insights into policy development.

Skorupski and Uchronski (2016) aimed to create a decision support system that can draw conclusions and make decisions, which includes showing a solution (in equipment and operating technology at the passenger safety checkpoint) with the highest evaluation. In the created system, the knowledge base was used which provided by the experts, expressed in the form of fuzzy rules. In the study, a computer tool called Fuzzy Passenger Security Control Assessment (FUPSCA), which is a practical application of the expert system that supports the management of the airport security system, was created based on the presented theoretical concept. It has been observed that it is possible to make a quantitative assessment of the effectiveness of the passenger safety check in relation to the selected frequency of the additional checks and the quality of the manual check identified in the experiments performed. In the other experiment, it was stated that the practical applicability of the theoretical and software solutions developed for the organizations managing the airports was verified and the management method could be designed from a psychological point of view. It has been seen that the method applied in this study enables better management of aviation security to evaluate the effectiveness of passenger security control at an airport. Also, the human factor was taken into account in the evaluation of the effectiveness of passenger control as an approach.

Kierzkowski and Kisiel (2020) drew attention to the need to maintain social distance between people due to the pandemic and stated that this situation caused congestion at the airport security checkpoint and the performance decreased dramatically. In order to minimize this effect, it is stated that different configurations have been developed to ensure passenger flow on the way to the security checkpoint. Moreover, it was stated that the advantages and disadvantages of these configurations were determined, and performance measurement was made. It has been stated that if the necessary clearance is not provided on the way to the checkpoint to ensure the passenger flow, the required instructions should be given to the passengers in order to maintain the distance after the checkpoint and the performance can only be achieved in the entrance area.

3. Airport Terminal Building Security Scan Process

Security screenings, which started due to many attacks in the history of aviation industry and have been developed since the terrorist attack on September 11, 2001, implemented more strictly at all airports around the world, have become one of the most important factors in ensuring passenger and flight safety. These control scans started with the rule enacted by the Federal Aviation Administration in the USA in 1973. According to the "Annex-17" published by the International Civil Aviation Organization (ICAO) in 1974, standards related to security processes have been determined for ICAO member countries around the world. Turkey, on the other hand, largely implements the security screening standards determined by ICAO.

In this part of the study, the security control processes in the terminal building at the airports before the pandemic were specified and additional measures and practices introduced after the pandemic were explained.

3.1. Pre-pandemic Airport Security Control Process

In recent years, security checkpoints have taken the lead in processes that have become a necessity in airport terminals. At security checkpoints, passengers and their luggage are checked through a channel. Each channel is equipped with an arch-shaped magnetometer and X-ray device. Passengers are checked by magnetometers and baggage is checked by X-ray devices. If a metal object is detected on the passenger and/or in their luggage, the security officer can manually check the passengers and their luggage. Some passengers may be randomly selected for additional screening. (Naji et al., 2017, cited by Özkan and Ateş, 2020).

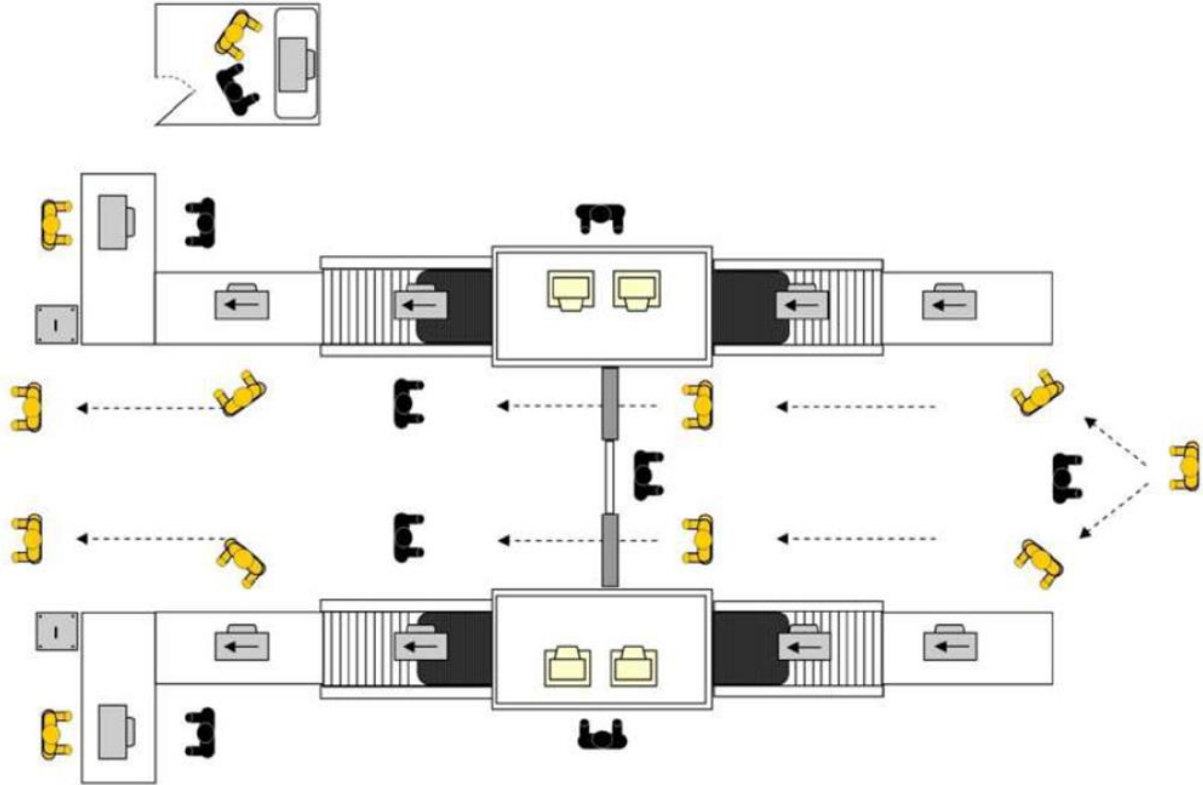


Figure 1. Terminal Security Scan Model (ICAO, 2013).

Besides that, many negativities are encountered in security scanning processes. Paul et al. (2009, 66) lists the barriers to effective passenger screening in aviation security as follows:

- 1- Due to the large number of personnel changes, the recruitment of the controllers takes place in a short time.
- 2- Inadequate education.
- 3- Mental and physical wear and tear of employees due to high labour force at busy times.
- 4- Low wages given to those working at checkpoints.
- 5- Insufficient number of personnel.
- 6- Low quality screening equipment.
- 7- Insufficient space at screening control points.
- 8- Over carriage procedures for some restricted items.
- 9- Uneven distribution of passengers sent to security checkpoints.
- 10- Pressure from airlines and airport management departments to avoid delays at security checkpoints.

Another disadvantage of passenger safety control is that it is costly to plan the process and make it sustainable. Furthermore, the congestion at the checkpoints and the delays caused by the queues. As a consequence of all, the airport's security control causes workforce loss for the airport and passenger dissatisfaction could be occurred on the basis of airport service quality. In fact, national economies are seriously affected by their operational efficiency, as airports play an important role in passenger and cargo transport (Wang, 2016). Also, it has been stated that security checks at checkpoints that are passed through metal detectors on foot do not provide full efficiency since they can only detect metal items (Skorupski and Uchronski, 2016).

3.2. Post-pandemic Measures and Practices

After the pandemic, preventive measures have been taken at airports, which are among the largest public places. ACI (2020) listed the advisory measures to be implemented at the security checkpoints at airports during the pandemic as follows:

- If passenger traffic permits, it is recommended to maintain a gap of at least 1.5 meters between checkpoints.
- Additionally, checkpoint managers should note that creating queues before the checkpoint should be avoided.
- For cleaning and disinfection of hands, hand disinfectants and gloves should be distributed to the scanning personnel.
- At regular intervals, screening personnel should perform routine cleaning and disinfection of frequently touched/exposed surfaces in the security checkpoint and baggage areas.
- Employees are advised to wash their hands after cleaning and after removing gloves. (ACI, 2020).

In addition, DGCA (Directorate General of Civil Aviation) (2020), the measures applied before and after the pandemic at the security checkpoints in the airport terminal building before the flight are indicated in the table.

Table 1. Precautions applied at airports before flight (DGCA, 2020)

Security Checkpoint	Before Covid-19	After Covid-19*
	- Removal of electronic items	- Social Distancing (at least 1 meter)
	- Removal of liquids	- Wearing a mask
	- Removal of metal items	- Maintaining cleaned/disinfected trays in X-ray areas
		- Contactless boarding pass and ID check

* The measures specified in the "After Covid-19" column are in addition to the measures specified in the " Before Covid-19" column.

4. Methodology

4.1. Simulation Method

Simulation, also known as reproduction or learning, is technically simulating the operation of a real event or system over time. While the simulation allows the observation of the past, it also allows the production of the artificial history of the system and making inferences about its properties. In another definition, simulation is the modelling of the system so that the behaviour of the system can be observed under different conditions (Aydın, 2010). Başlıgil (2016) defines modelling with simulation as "It is a trial and application methodology in the form of defining the behaviour of the system, establishing a theory or hypothesis, using the established theory to predict the future behaviour of the system".

Currently, simulation models have turned into systems that can be used at every stage of design and prevent errors in advance, with the advancement of technology. By applying simulations of human movements according to the purpose of use of buildings, human behaviour can be analysed in the face

of different types of places and conditions. For this reason, it makes it possible to measure not only theoretical capacity but also practical capacity (Arusoğlu, 2010).

For a long time, airport simulation models are created, and capacity is measured. In this study, it is aimed to analyse the differences in capacity usage after the pandemic by creating a simulation model of the security checkpoint scanning process in the terminal building of Ankara Esenboğa Airport.

4.2. Data Collection and Model Building

In this study, it is aimed to simulate the intensity that may occur within the scope of Covid-19 measures at the security checkpoint after the passport control of the Ankara Esenboğa Airport international passenger terminal, and to provide suggestions to the stakeholders by determining the necessary measures to avoid queues. The main goal is to identify if there will be congestion at the security checkpoint as the passenger statistics are reached peak numbers before the Covid-19 pandemic, while the measures taken after Covid-19 pandemic still continue. Within the scope of the study, the Arena Simulation program was used. The research questions (RQs) to be examined within the scope of the research can be listed as follows:

RQ₁: Do the measures taken during the Covid-19 pandemic cause a queue at the security checkpoint?

RQ₂: Does it cause mental and physical exhaustion since the work intensity of the personnel at the security checkpoints is high in the busiest time zones of the airport?

RQ₃: Does the increasing the number of employees and scanning devices reduce the density at the security checkpoint?

There are some assumptions and limitations for the data to give accurate results in the simulation to be carried out in the study. These can be lists as follows:

- The results obtained by keeping the number of employees at the security control point constant were compared with the results obtained by increasing the number of employees according to the probability predicted in the RQ₃.
- While modelling the security screening process, fixed personnel planning was applied, and personnel-related factors were not taken into account.
- It is accepted that trays and hand luggage used for personal belongings show the same processing time distribution as passengers.
- While determining the busiest time of the airport, the 8-hour time frame in the month with the heaviest passenger and airplane traffic was simulated, since no information could be obtained on the day and time zone with the busiest passenger traffic.
- The “first in, first out (FIFO)” rule has been taken into account for all transactions and queues.

In the selection of the data to be used for the creation of the model, the passenger graph data of Ankara Esenboğa Airport for the year of 2019, the scanning processes at the security checkpoints during the pandemic process and the opinions of the experts were used to determine the operational inputs. The airport passenger traffic data is based on the international outbound passenger traffic data for December 2019, when the heaviest passenger traffic, to observe that there is sufficient capacity to meet the demand.

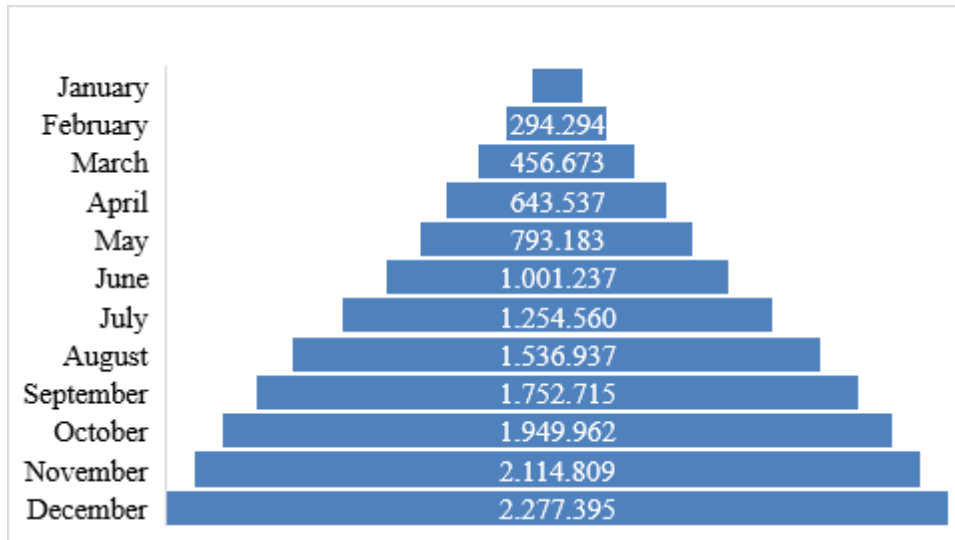


Figure 2. Ankara Esenboğa Airport international monthly passenger traffic in 2019 (Author (2021), based on GDSAA (General Directorate of State Airports Authority) database).

During the model creation phase, flights in the 8-hour shift timeframe were included in the simulation based on the busiest day in December 2019. In that time period, the international flights are carried out by types of Boeing 737-800 and A320-200 commercial aircrafts. In addition, the number of passengers was determined by considering the passenger load factor of the airline companies operating the flights in that period. Furthermore, two different simulation models were created, as the hand luggage (or items) of passengers and passengers will pass through separate X-ray devices. The model, which was created by using the expert opinion, was simulated in the Arena Simulation program. The following information based on expert opinion and assumptions have been adopted to simulate the process at the security checkpoint after passport control in the terminal building where international flights are made:

- 1- The measures to be taken against the pandemic have been determined in accordance with the "Airport Pandemic Precautions and Certification Circular" published by DGCA. These are;
 - Measures are taken to maintain social distance of at least 1 meter in all airport facilities and terminal building.
 - Obligation to wear a mask.
 - Cleaning the security checkpoint with disinfectant.
- 2- It is assumed that all passengers included in the simulation have a hand luggage and/or bag with them.
- 3- There is only one security checkpoint after passport control.
- 4- After the passport control, the walking distance to the security point is determined as a minimum of 15 seconds and a maximum of 45 seconds based on the expert opinion.
- 5- At the security checkpoint;
 - A staff member to inform and direct passengers,
 - A staff member near the X-ray machine to manually check the passengers,
 - In order to provide computer-based control of X-ray device, a staff member is for a personnel hand luggage,
 - Lastly, one staff member is there to manually check the hand luggage.
- 6- Based on expert opinion, it is determined that the transit times of the passengers from the X-ray devices are distributed in a triangle (15, 30, 45 seconds). In addition, 30% of passengers can pass without any warning during this first check.

- 7- Passengers' passing through the X-ray device for the second time is also considered to be between "15, 30 and 45 seconds". During this control, it was assumed that 70% of the passengers passed without warning, referring to expert opinion.
- 8- The third check is considered to be done manually and it is assumed that this check is completed between "15, 30 and 45 seconds", referring to expert opinion.
- 9- Based on expert opinion, it is accepted that the hand luggage belonging to the passengers is checked at the same time and at the same time as the passengers. It is determined that 85% of the checked baggage in the X-ray device passes without warning.
- 10- The second check of the hand luggage of the passengers is carried out after the detection of a prohibited substance from the X-ray device. This control is done manually, showing a triangular distribution (between 2, 2.5 and 3.5 minutes), this control is completed based on expert opinion.

The simulation model was created for passenger and passenger hand luggage as seen in Figure 3.

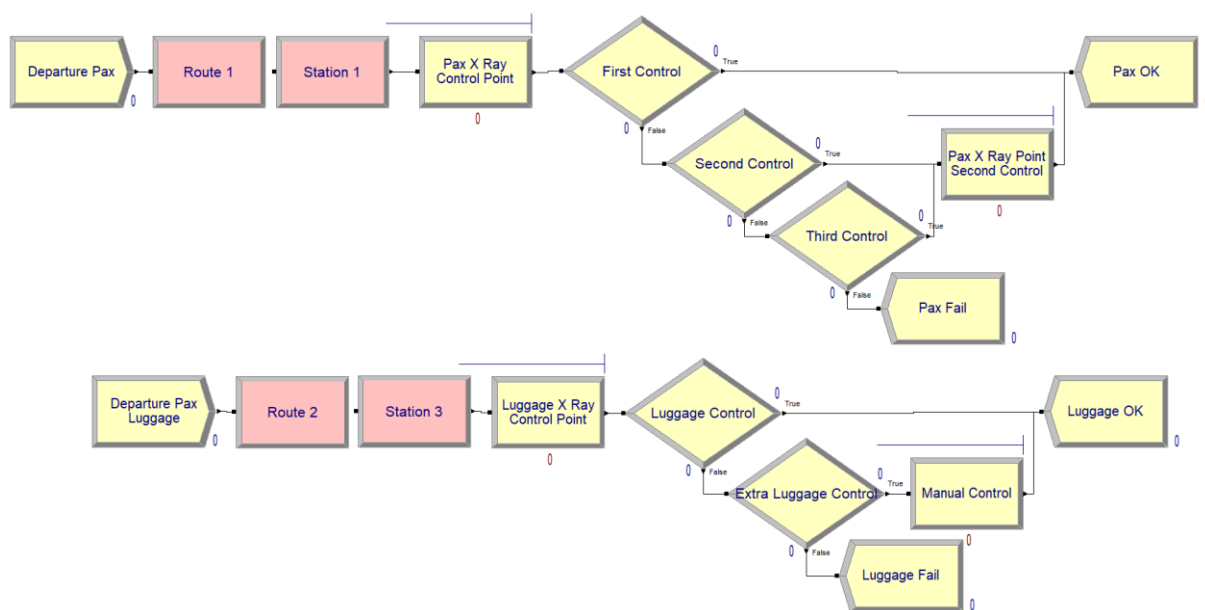


Figure 3. Security checkpoint simulation model (Author (2021), compiled from Arena Simulation software).

5. Results

The simulation model was created to simulate the security checkpoint after passport control in a shift zone (8 Hours) with the busiest day of the international passenger traffic. As the number of passengers, the 8-hour period during the busiest day in December 2019 was determined. It has been seen that the aircraft types served for the flights in this time period are namely Boeing 737-800 and Airbus A320-200. The number of passengers was calculated according to the average load factor of the airline companies at that period. Additionally, it is accepted that all passengers have purchased economy class tickets as airline companies do not put any other ticket option upon the market.

Table 2. Data for flight, aircraft and passenger (Author (2021), compiled from the websites and reports of airline companies)

Name of the Airline	Aircraft Type	Seat Capacity	Load Factor	Number of Flights	Total Number of Passengers
X	B737-800	189	%72,4	3	408
X	A320-200	159	%72,4	3	345
Y	B737-800	189	%81,6	1	154
Total				7	907

The average time spent by passengers in the system from simulating the model is shown in the table below:

Table 3. Average time passengers spent in the system (Author (2021), compiled from Arena Simulation software)

	Average Time (minute)
Service Time	0,881
Transfer Time	0,493
Waiting Time	10,32
Total Time Spent in the System	11,694

According to this result, it is seen that the waiting times of the passengers are much longer when compared to the time they receive service.

Average wait times and queue data at the sources (scan points) of the simulated model are shown in the table below:

Table 4. Average waiting time and queuing data at scan points (Author (2021), compiled from Arena Simulation software)

	Average Time (minute)	Average Number of Waiting Passengers
Baggage X-ray Device	6,312	11,9295
Baggage Manual Check	9,81	2,7585
Passenger X-Ray Device	7,53	12,1522

In addition, the usage and occupation rates of the personnel used in the simulation model at the scanning points are shown in the table below.

Table 5. Usage and occupancy rates at scan points (Author (2021), compiled from Arena Simulation software)

	Usage Rate (%)	Occupancy Rate (%)
Baggage X-ray Device	88,36	88,36
Baggage Manual Check	93,72	93,72
Passenger X-Ray Device	84,94	84,94

Considering the simulation model findings, service, and transfer times within the system, it is seen that the waiting time is much longer. This indicates that the waiting time is high if the pre-pandemic density is restored. In addition, it is seen that the number of passengers waiting at these scanning points is high. Moreover, since there is only one security checkpoint after the passport at the airport terminal, it is seen that the usage rates of the devices at the scanning points are high.

Besides results mentioned above, in order to observe changes on resources (whether number of staff members or devices), different scenarios and the changes in the duration of resource usage and the number of waiting passengers can be observed in the Process Analyzer (PAN) section of the Arena simulation software. It can be stated regarding results obtained by producing different scenarios on the simulation model, increasing the number of devices at the scanning points and/or increasing the number of personnel does not create any change on the system.

Table 6. Queuing data for different scenarios on PAN (Author (2021), compiled from Arena Simulation software)

Iteration	Controls						Responses	
	Length (hour)	Number of Personnel #1	Number of Personnel #2	Number of Personnel #3	Number of Personnel #4	Number of X-Ray Devices	Average Number of Waiting Passengers (at Baggage X-Ray Device)	Average Number of Waiting Passengers (at Manual Baggage Control)
Scenario 1	1	8	1	1	1	1	11,93	2,758
Scenario 2	1	8	1	1	1	2	11,93	2,758
Scenario 3	1	8	2	2	2	1	11,93	2,758
Scenario 4	15	8	1	1	1	1	14,67	3,437
Scenario 5	1	8	2	2	2	2	11,93	2,758

6. Conclusion and Discussion

The Covid-19 pandemic has adversely affected the aviation industry and almost all flights have been stopped in many countries. With the measures and regulations taken, the rate of spread of the virus has been reduced and passenger transport has entered the recovery process. In this study, it is aimed to investigate whether the regulations put into practice due to the pandemic have an effect on airports if the passenger numbers would reach pre Covid-19 pandemic level. In the study, Ankara Esenboğa Airport has been selected as the study area. After the passport control in the airport terminal building, a simulation model was created based on the security control point. In the model, which was created using expert opinion, it was desired to observe the control times and whether the passenger queue formed at this point increased if the current regulations were repeated in 2019. Using the findings, it has been observed that it will work with a high capacity due to the fact that the control point is single. In addition, it was observed that the waiting times of the passengers were much longer than the service and transfer times, and it was understood that this situation was not dependent on the personnel and/or scanning devices within the different scenarios.

What is more that the research questions put forward were compared with the results obtained. As a result of this comparison, it is observed that the findings supported the RQ₁ and RQ₂ of the study. Within the scope of the data obtained, it is seen that the measures and regulations taken during the pandemic create a queue and increase the waiting time. On the other hand, it is seen that the RQ₃ was not supported by the data obtained from simulation model. The reason for this is that it has been observed that there is no change in the waiting time and the number of passengers waiting in the queue, obtained by creating different scenarios in the Process Analyzer (PAN).

It is seen that an additional scanning point should be put into service if the current pandemic measures are continued. By adding an additional point, waiting times and queues can be reduced. In addition, passenger flow management can be more stable and comfortable by preventing the scanning devices from operating at almost full capacity. Thus, any human error can be prevented by reducing the mental and physical wear and tear of the personnel working at this control point due to the high labour force at peak times. Furthermore, creating multiple security points instead of single security checkpoint will reduce the load on the system of passenger flow at that point, especially at peak times. The cost of additional security points to be built will be less than the cost after suffering losses in the number of passengers in the long term, as passenger satisfaction is directly affected and accordingly the airport reputation is damaged. As a result of this study, it is seen that the suggestions about insufficient space at the screening control points and the mental and physical wear of the employees are supported in the study conducted by Paul et al. (2009, 66).

Researchers' Contribution Rate Statement

The authors' contribution rates in the study are equal.

Acknowledgement and/or disclaimers

There is no support for this work.

Conflict of Interest Statement

No conflict of interest was declared by the authors.

References

Arusoğlu, Ö. (2010). *A Model Proposal for Simulation of Airport Terminal Passenger Movements* [Master's thesis, Institute of Science and Technology]. ITU Academic Open Archive. Retrieved May 11, 2021, from <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/703/1/10915.pdf>.

Aydın, İ. (2010). *Lecture notes on Introduction to Simulation and Modeling* [PDF]. Fırat Üniversitesi. Retrieved May 11, 2021, from http://web.firat.edu.tr/iyadin/Introduction_to_simulation_and_modeling_lecture_1.pdf.

Başlıgil, H. (2010). *Lecture notes on Modelleme ve Simülasyon* [PDF]. Department of Industrial Engineering, İstanbul University. Retrieved May 11, 2021, from http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/endustrimuhlt_ue/modellemevesimulasyon.pdf.

DGCA (2020). *Havaalanı Pandemi Tedbirleri ve Sertifikasyonu Genelgesi*. Ankara: Directorate General of Civil Aviation. Retrieved May 11, 2021, from <https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/genelgeler/2020/Havaalani-pandemi-tedbirleri.pdf>.

GDSAA (2021). *Statistics*. Retrieved June 21, 2021, from <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/EN/Statistics.aspx>.

ICAO (2013). *Module 3: Passenger and Hand Luggage Screening Measures*. Montreal: International Civil Aviation Organization. Retrieved May 11, 2021, from <https://www.icao.int/MID/Documents/2013/capsca-mid3/ICAOHealthRelatedSARPsandguidelines.pdf>.

Nikolaev, A. G., Lee, A. J., and Jacobson, S. H. (2011). Optimal Aviation Security Screening Strategies with Dynamic Passenger Risk Updates. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 13(1), 203-212. Retrieved May 11, 2021, from shorturl.at/hxH69.

Özkan, B., and Ateş S. (2020). Covid-19 Kapsamında Havaalanlarında Alınan Tedbirlerin Terminal Güvenlik Süreçlerine Etkisi: Muğla Dalaman Havalimanı'nda Bir Uygulama. *Pandemi Döneminde Yönetim & Strateji & Liderlik. Akademi Titez Yayınları*, sf 175-192. Retrieved May 11, 2021, from shorturl.at/eDNZ6.

Paul, J. A., Lin, L., Batta, R., and Drury, C. G. (2009). Airport Security System Design: Passenger Flow Analysis and Simulation Modeling. *Protecting Airline Passengers in the Age of Terrorism*, 66. Retrieved May 11, 2021, from <https://trid.trb.org/view/919916>.

Pegasus. (2021). *Annual Reports*. Retrieved June 21, 2021, from <https://www.pegasusinvestorrelations.com/en/operational-information/annual-reports>.

Pendergraft, D. R., Robertson, C. V., and Shrader, S. (2004, December). Simulation of an Airport Passenger Security System. In *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004.* (Vol. 1). IEEE. Retrieved May 11, 2021, from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1371402>.

Rockwell Automation (2021). *Arena Simulation (Trial Version)* [Software]. Retrieved May 15, 2021.

Skorupski, J., and Uchroński, P. (2016). Managing the process of passenger security control at an airport using the fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 54, 284-293. Retrieved May 11, 2021, from <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.11.014>.

TAV Airports. (2021). *Ankara Esenboğa Havaliamanı, Departures*. Retrieved June 21, 2021, from <http://www.esenbogaaairport.com/en-EN/flights/departure-flights>.

Turkish Airlines. (2021). *Presentations*. Retrieved June 21, 2021, from <https://investor.turkishairlines.com/en/financial-and-operational/presentations>.

Wang, C. H. (2016, November). Arena Simulation for Aviation Passenger Security-Check Systems. In *International Conference on Genetic and Evolutionary Computing* (pp. 95-102). Springer, Cham. Retrieved May 11, 2021, from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-48490-7_12.

Araştırma Makalesi

Otonom araçların akıllı ulaşım politikaları üzerindeki etkileri

Sinem Akkaya^{1,*}, Harun Özbay²

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

² Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, Bandırma, Türkiye

*Correspondance: sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr

DOI: 10.51513/jitsa.1160891

Özet: İçinde bulunduğumuz şu günlerde nüfus yoğunluğu ve araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Araç kullanımının hızla artmasıyla birlikte yükselen fosil yakıt tüketimi, bununla beraber oluşan sera gazı etkisi ve iklim değişiklikleri, halk sağlığını tehdit eder duruma ulaşmıştır. CO₂ emisyonu sebebiyle oluşan çevre kirliliği ve trafik sıkışıklığının çözülmesi gereken boyuta gelmesi otomotiv üreticilerini yeni arayışlara itmiştir. İlk dönemlerde akıllı ulaşım sistemleri ile başlayan bu süreç daha da iyileştirilmiş ve sonraki safhada otonom araç teknolojileri çalışılmaya başlamıştır. Araç performansından ödün vermeden geliştirilebilecek daha çevreci teknolojiler araştırılmaya başlanmıştır. Otonom araçların aynı zamanda mobiliteye erişilebilirliği artıracakları öngörülmektedir. Bu çalışmada genel çerçevede otonom araçların akıllı ulaşım politikaları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu araçların, günümüzde dünyada sahip olduğu ve gelecekte kazanacağı öneme değinilmiştir. Aynı zamanda otomotiv firmaları tarafından yapılan ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Sürücüsüz araçların oluşturabileceği risk ve kolaylıklar göz önünde bulundurularak toplum sağlığına hangi boyutlarda etkileri olacağı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı ulaşım sistemleri, otonom araçlar, ulaşımında toplum sağlığı

The effects of autonomous vehicles on intelligent transportation policies

Abstract: The population density and the number of vehicles are increasing day by day. With the rapid increase in vehicle use, increasing fossil fuel consumption, the greenhouse gas effect and climate changes that occur together with it, have reached a situation that threatens public health. The environmental pollution and traffic congestion caused by CO₂ emissions have pushed automotive manufacturers to search for new choices. This process, which started with smart transportation systems in the first periods, was further improved and autonomous vehicle technologies were started to be studied in the next phase. More environmentally friendly technologies that can be developed without loss of vehicle performance have begun to be researched. It is predicted that autonomous vehicles will also increase accessibility to mobility. In this study, the effects of autonomous vehicles on smart transportation policies are examined in general terms. The importance of these tools in the world today and that they will gain in the future has been mentioned. At the same time, related studies carried out by automotive companies are mentioned. Considering the risks and conveniences that driverless vehicles can create, it has been investigated in what extent they will affect public health.

Keywords: Intelligent transportation systems, autonomous vehicles, public health in transportation

* Corresponding author.

E-mail address: sinemakkaya@ogr.bandirma.edu.tr

ORCID: ¹0000-0002-1233-4724, ²0000-0003-1068-244X

Received 11.08.2022; accepted 30.09.2022

Peer review under responsibility of Bandırma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Hava ve çevre kirliliğinin dramatik düzeylerde artması sonucu dünya nüfusunun ortalama %92 si kirli hava solumaktadır. Yine bu sebeple maalesef her yıl beş milyonun üzerinde insan kirlilikten dolayı hayatını kaybetmektedir. Günlük hayatımızda kullanımı yoğunlaşan fosil yakıtlı özel otomobillerimizin de bu kirlilikte payı oldukça büyüktür. Hava kirliliğinin yanı sıra egzoz gazı emisyonları iklim değişikliklerine de yol açmaktadır (Ur11, 2022). Günümüzdeki enerji tüketimine bakıldığında da ilk kaynak olarak ve en yüksek ölçüde(%85) fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte taşımacılık ve ulaşımında kullanılan yakıt miktarı, dünya genelinde oluşan sera gazının ortalama %14'ü ve ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının da %23'ünü oluşturmaktadır (Ozbay et al., 2020).

Araç sayısı fazlalığı nedeniyle trafik sıkışıklıkları oluşup trafik güvenliği azalmakta ve ölümlü trafik kazaları da meydana gelmektedir. Otomotiv üreticileri de bu duruma kayıtsız kalmamış ve kirliliği azaltıp trafik güvenliğini artıracak çalışmalara başlamışlardır. Bahsi geçen konularda sanayideki çalışmaların yanı sıra akademik çalışmalar da gerçekleştirilmiş ve halen gerçekleştirilmektedir (Ozbay ve diğ., 2020).

Elektrikli araçların fosil yakıtlı araçların sebep olduğu kirliliği azaltma yardımcı olabileceği öngörülmektedir. Bununla birlikte otonom araçların hem hava kirliliğini azaltacağı hem de trafik güvenliğine katkı sağlayacağı düşünülerek bu alanda da yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada klasik ve elektrikli araç teknolojilerine değinilmiş, üçüncü bölümde otonom araç teknolojilerinin tarihi ve mevcut durumu incelenmiş, dördüncü bölümde dünyada otonom araçların bulunduğu yer ve gelecek projeksiyonu ele alınmıştır. Sonraki kısımlarda ise otonom araçların avantaj ve dezavantajları, bu tip araçlarda kullanılan izleme cihazları ve sürücüsüz araçların toplum sağlığı üzerine etkilerinden bahsedilmiştir.

1.1. Klasik ve elektrikli araç teknolojileri

Günümüzde artan araç sayısı ve nüfus oranı ile birlikte, sera gazı olan CO₂ konsantrasyonu ve bunun etkisiyle küresel ısınma hızla artmaktadır. İklimde değişikliklere sebep olan bu durum alternatif araç sistemlerini gündeme getirmiştir. Fakat alternatif olarak kabul edilebilecek araçlarda yatırım maliyetinin yüksek olması ve menzil sınırı birer dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, güvenlik konuları, yüksek yakıt dolmaliyetleri, kısıtlı şarj istasyonları gibi aşılması gereken sorunların da olduğu dikkate alınması gerekmektedir.

Çevre kirliliğinin artması, otomotiv üreticilerini performansı düşürmeden geliştirilebilecek daha çevreci arayışlara sürüklemiştir. Bu arayışlar içerisinde; daha az silindir hacmi ile düşük sürtünme ve ağırlık, daha düşük silindir hacmi ile hareketli kütlelerin azaltılması, torkun geniş devir bandına yayılması, turbo ve kompresör kullanımıyla turbo boşluğunun azaltılması ya da tamamen yok edilmesi, değişken supap zamanlaması, dur-kalk sistemleri, daha hafif malzemeler kullanılarak ağırlığın azaltılması, geliştirilmiş enjeksiyon sistemleri, sürtünme oranı düşük yağlayıcılar, motorda sürtünmelerin azaltılması, silindirlerin devre dışı bırakılması, kampsız supap iletimi, direk benzin enjeksiyonu (GDI), otomatikleştirilmiş manüel şanzıman teknolojileri ve 8-10 ileri kademeli manüel şanzımanların kullanımı, entegre marş-alternatör üniteleri, araçta akıllı ısı yönetimi, dizel motorlu araçlarda piezo-enjektör kullanımı (piezo-injectors), bir çevrimde birden çok enjeksiyon (split injection) gibi konular üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmektedir (Demir, 2010).

Bu gelişmelerin yanı sıra, üretici ve geliştiriciler otonom araç seviyesine ulaşabilmek için ara teknoloji araştırmalarına da devam etmektedirler. Şerit takip asistanı, otomatik fren, Wi-Fi, navigasyon ve otomatik bagajlar ara teknolojiler arasında yerini almaktadır.

1.2. Otonom araç teknolojilerinin tarihi ve mevcut durumu

Araçların otonomlaştırılması fikri 1920'lere dayanmaktadır. 1925 yılında Fransız bir elektrik mühendisinin radyo kontrollü bir araç sürmesi ile gündeme gelmiştir. Bu aşamadan sonra 1939 yılında General Motors ve Amerika Sarnoff Laboratuvarı'nın ortak araştırma geliştirme faaliyetleri sonucunda New York Dünya Fuarı'nda otonom araç düşüncesi ilk kez halka sunulmuştur. Sergilenen otonom araç fikri aynı zamanda aracı asiste edecek bir otoyol sistemini de içermekteydi. 1958'de bu tip araçları test etme işlemleri ilk kez yapılmış ve kendi kendini yönetebilen bir otonom otomobilin testleri yapılmıştır.

1964'ten 2003'e kadar da otonom hale getirilmiş otobüs ve kamyonlar, süper akıllı araç sistemleri ve sürüş video görüntü işlemlerini geliştirmek için ABD, Avrupa ve Japonya'da başka birkaç Araştırma geliştirme faaliyeti ile kullanılmıştır (Faisal ve diğ., 2019). Şekil 1'de bir otonom aracın iç tasarımı görülmektedir (Url2, 2022).



Şekil 1. Otonom araçlarda iç sistem

1977 yılında otonom araçların yapılandırılması ile ilgili bir proje olarak Japonya Tsukuba Mekanik Mühendisliği Laboratuvarı tarafından geliştirilen araç 32.2 km/sa hıza ulaşmış ve aynı zamanda yoldaki beyaz yol işaretlerini takip ederek yol almıştır. Otonom araçların ilerleme kaydettiği önemli aşamalardan biri ise 1980'li yıllarda Münih Bundeswehr Üniversitesi'nde Ernst Dickmanns liderliğindeki ekibin hazırladığı Mercedes-Benz prototip araçtır. Bu araç trafiğe kapalı bir alanda 63 km/sa hıza ulaşabilmiştir. Sonrasında 1987-1995 yılları arasında EUREKA oldukça büyük bir bütçe ile otonom araçlar için PROMETHEUS (Avrupa En Yüksek Verimlilik ve Eşi Görülmemiş Güvenlik Trafiki Programı) Projesini başlatmıştır. Bu proje sayesinde iki kamera vasıtasıyla bilgi aktarımı yapılabilme yetkinliğiyle başlayan araç tasarlama teste hazır hale gelmiştir. Bu sunum 2004 yılında gerçekleştirilen DARPA Mücadelesi' ne kadar ABD'de en çok ilgi gören akıllı ulaşım sistemleri etkinliği olmuştur.

Otonom araçlar için çok önemli olan bir diğer gelişme ise 1997 yılında Kaliforniya otoyolunda yapılan ve çok sayıda otonom araç içeren etkinliktir (James M. Anderson ve diğ. 2014). 2000'li yıllarda otonom araçlar yarışabilir hale gelmiştir ve ilk olarak 2004 yılında ABD tarafından ödüllü bir DARPA Büyük Yarışı başlatılmıştır. Bu yarışta 15 otonom araç yarışmış ve en iyi araç 7 mil kadar yol almıştır. Bu gelişmenin de ışığında General Motors, Audi, Ford, Volvo gibi büyük otomotiv firmaları sürücüsüz araç sistemleri ile ilgili gelecek planlarını ve test sürüşlerini yapmaya başlamıştır.

2014 yılında Tesla, ilk oto pilot modeli Model S aracını tanıtmıştır. Bu araç, direksiyon ve fren kontrolü ve aynı zamanda görüntü işleme algoritmaları sayesinde şerit kontrolü yapabilmekteydi. 2015 yılında Uber şirketi de otonom araç sektörüne dâhil olduğunu açıklamış ve çalışmalarına başlamıştır. Otomotiv firmaları halen otonom seviyeye ulaşmak için ara teknolojiler üretmeye devam etmektedir. Geliştirilen her bir teknoloji otonom sisteme doğru atılan adımlardan biridir. Bu teknolojiler arasında fren kilitlemeyi önleme sistemi (ABS), şerit takip sistemi (lane departure warning) (Şekil 2)(Url3, 2022), hız kontrol sistemi (Cruise Control) (Şekil 3)(Url4, 2022), park sensörü (parking sensors), otomatik acil fren destek sistemi (automatic emergency braking), elektronik denge kontrol sistemi (electronic stability control) gibi sistemler yer almaktadır (Yiğit ve diğ., 2020).



Şekil 2. Şerit takip sistemi



Şekil 3. Hız kontrol sistemi

2. Dünyada otonom araç projeksiyonu ve gelecekteki yeri

Günümüzde otonomlaştırılmış araçlar hususunda çalışmalarını devam ettiren birçok şirket vardır. Büyük otomotiv firmaları yapılan çalışmalar arasında dev projeleri ile yerini almaktadır. Bahsedilen projeler içinde Guardian (Toyota), Piloted Driving Program(Audi), Driverless Car Project (Google), Automated Fusion Hybrid (Ford), Drive Me projesi (Volvo) gibi birçok çalışma bulunmaktadır. Şekil 4'te Google projesi kapsamında geliştirilen Waymo isimli otonom araç görülmektedir (Url5, 2022).



Şekil 4. Google projesi kapsamında geliştirilen otonom araç Waymo

Mercedes-Benz, otonom araç proje çalışmalarının yanı sıra Uber yolcu taşımacılığı hizmeti gibi farklı hizmetleri de vermeyi hedefleri arasına almıştır. Car2go ve MyTaxi bu projelerin başlıcalarındandır. Uber firması da 2015 yılında otonom araç testlerini başlatarak sürücüsüz araç teknolojileri üreten otomotiv üreticileri arasında yerini almıştır. Otonom araç çalışmaları yapan şirketlerin çoğunlukla gelişmiş düzeydeki belli başlı bazı ülkelere ait olduğu görülmektedir. Gelişimin bu şekilde ilerlemesi de sonraki aşamalarda otonom araç üretiminde tekel oluşma ihtimalinin ortaya çıkabileceği göstergesidir (Webb ve diğ., 2019).

İleriki zamanlarda otonom araçların hem özel hem de ticari araç olarak faaliyete geçmesi beklenmektedir (Faisal ve diğ., 2019). Nüfusun büyük bir kısmı daha büyük şehirlere göç ettikçe, herkesin hususi araca sahip olması yoğunluğu artıracaktır. Geleceğin akıllı şehirlerinde otomatik sürüş ve kablosuz bağlantı gibi yeni teknolojiler seyahat için önemli olacak ve otonom araç ve kamyon filoları, entegre bir ulaşım sisteminin parçası olarak şehirlerde kişisel hareketliliği sürdürmek için bir çözüm olarak öngörülmektedir.

Litman (2017), karayolu taşımacılığındaki otonom araçların büyük bir payının 2040-2060 yılına kadar enerji tasarrufuna katkıda bulunacağını tahmin etmektedir. Yapılan araştırmalar, araç otomasyonunun yakıt tüketiminde en az %30 en çok %45 olmak üzere tasarruf sağlayabileceğini belirtmektedir. Kişisel araba yerine toplu taşıma ile birlikte otonom araçlar kullanıldığında %37'lik bir enerji tasarrufunun mümkün olacağı öngörülmektedir (Moorthy, A., ve diğ., 2017).

Bölgesel düzeyde, araç otomasyonunun mesafe iyileştirmeleri ve ulaşım maliyetini düşürmesi sayesinde aynı zamanda metropol kent merkezleri çevresinde yeşil kentsel yayılımlara da yol açması beklenmektedir (Bagloee ve diğ., 2016).

Önceki akıllı araç teknolojilerinin (otomatik şanzıman ve hibrit-elektrikli sürücü gibi) benimsenmesine dayalı olarak, tahminen, otonom araç mevcudiyetinin araç satışlarının yaklaşık %50'sini, araçların %30'unu ve 2040'a kadar seyahat edecek tüm araçların %40'ını oluşturması beklenmektedir. Bu nedenle, bu tür olasılıklara hazırlıklı olmak ve ortaya çıkan fırsatları değerlendirmek ileride karşılaşılabilecek zorlukları anlamak açısından önem arz etmektedir (Litman T, 2015).

2.1. Otonom araçların avantaj ve dezavantajları

Ulaşım, toplumların refah seviyesini artırmak için geliştirilmiş olmasına rağmen, ulaşım araçlarının sayıca artması maalesef ki kirlilik, kazalar ve bunlara bağlı insan kayıpları gibi bazı olumsuz durumları da ortaya çıkarabilmektedir. Bahsi geçen durumlar, fiziki etkilerinin yanı sıra maddi olarak da toplumlara bazı dolaylı maliyetler yükleyebilmektedir. Bunlar, ulaşımın doğrudan getirdiği yakıt maliyeti, araç bakımı, araç tescili, sigortalandırma, ruhsatlandırma veya toplu taşıma biletleri gibi maliyetlerden farklıdır. Dolaylı maliyet, bir bütün olarak topluma dayatılan gizli bir maliyettir; güvenlik kadar trafik sıkışıklığı, kazalar ve çevrenin bozulması gibi maliyetleri de içerir. Genel olarak, otonom araç teknolojisinin büyük ölçüde bu mevcut olumsuz durumların çoğunu önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olacağı düşünülmektedir (Bagloee ve diğ., 2016).

Otonom otomobilin, kullandığımız klasik otomobile göre bakıldığında avantaj ve esnekliklerinden biri, ailenin tüm üyeleri arasında aynı anda kullanılabilmesidir. Ticari otonom araçlar taksi, otobüs ve nakliye hizmetleri olarak işletilebilir (Faisal ve diğ., 2019). Otonom özel araba veya taksinin konuşlandırılması, kentsel merkez konumlarında park talebini azaltabilir, bu alanları diğer ekonomik faaliyetlerin kullanımı için yeniden kullanılabilir ve karşılığında, merkezi iş bölgesi konumlarında kentsel yoğunluğu artırmaya yönelik hareket edebilir (Bagloee ve diğ., 2016). Buna karşılık, güvenilirlik, konfor ve zamanın algılanan değeri, uzun yolculuk mesafelerini teşvik edebilir, kentsel yayılmaya katkıda bulunabilir ve eski kentsel alanlarda emlak değerlerini etkileyebilir (Faisal ve diğ., 2019).

Otonom araçların vale veya otomatik pilot park özelliğinin yolcu indirdikten sonra ucuz veya ücretsiz park yerleri bulması beklenmektedir. Bu durum da yolcular aşağıdakileri gerektirmediğinden seyahat süresinden veya maliyetinden tasarruf sağlar:

- Park yeri için seyir;
- Almak için araca yürümek;
- Pahalı park yeri için ödeme yapmak.

Vale park hizmetinin ayrıca geleneksel insan güdümlü otoparka göre bir takım teknik avantajları vardır.

- ✓ Dinamik engellerden kaçınma;
- ✓ Dar geçit park alanlarında hareket etmek;
- ✓ Daha dar bir alana park etmek;
- ✓ Vites değişimlerinin optimizasyonunun sağlanması;
- ✓ Kaza meydana gelmesini önlemek;
- ✓ En hızlı ve en kısa park yolunu bulmak;
- ✓ Park yeri arama süresinin en aza indirilmesi (Faisal ve diğ., 2019).

Otonom araçların işgücü piyasasındaki yayılma etkileri, trafik polisliği ve sigorta satışları gibi belirli ilgili işlerdeki düşüslere sebep olabilir. Ayrıca daha az sayıda aracın bulunduğu bir gelecek, otomotiv endüstrisinde daha az işe yol açacaktır (Snyder, 2016). Fakat inşaat, yollar ve otoyolların modifikasyonu, BT ürün ve hizmetleri ile ilgili otopark tesislerinin dönüşümünde %15'e varan oranda üç sektörde potansiyel istihdam kazanımları olacağı öngörülmektedir (Faisal ve diğ., 2019).

Bunun yanı sıra otonom aracın otomasyon düzeyine, özelliklerine, kullanım türüne ve politika müdahalesine bağlı olmak üzere sera gazı emisyon düzeyini hemen hemen yarıya kadar azaltabilir (Faisal ve diğ., 2019).

Ulaşım güvenliğinin artırılmasında da otonom araçlar önemli bir rol oynamaktadır. Fakat bu avantajın yanında aracın iç güvenliğini ve emniyetini sağlama zorlukları bulunmaktadır. Eğer otonom araçta donanımsal bir arıza oluşur ya da siber saldırıya uğrarsa araç içinde iletişimi sağlayan ağ bu durumdan etkilenmektedir, etkilenen ağdan hatalı komut alan bilgisayar yanlış bir hareket gerçekleştirerek trafik güvenliğini riske atabilme durumu oluşabilmektedir. Örnek olarak aracın hatalı aldığı küresel konumlanma sistem verisi trafik düzensizliği ya da trafik kazalarına sebebiyet verebilmektedir. Dolayısı ile güvenlik, otonom araçlar için hayati önem taşımaktadır (Karaşahin & Kızıltaş, 2021). Bu konunun oluşabilecek sorunları önlemek için özellikle dikkatle değerlendirilip bu konular göz önünde bulundurularak geliştirilmesi gerekmektedir.

Otonom araçların trafik güvenliğini ve sürüş konforunu artıracığı; trafik kaosunu, çevre kirliliğini, fosil yakıt tüketimini azaltacağı, engelli ve yaşlı bireyler için ulaşım ve hareketlilik erişilebilirliğini kolaylaştıracağı öngörülmektedir. Ayrıca otonom sürüşün, kaza ve çarpışmaların sayısını azaltacağı da tahmin edilmektedir. Tablo 1’de elektrikli, hibrid ve otonom araçların avantajları ve dezavantajları açısından karşılaştırılması sunulmuştur.

Tablo1. Elektrikli, hibrid ve otonom araçların karşılaştırılması

Araç Teknolojileri	Avantajları	Dezavantajları
Elektrikli araç	<ul style="list-style-type: none"> Sıfır emisyon gazı Düşük yakıt ve işletme maliyeti Sessiz çalışma 	<ul style="list-style-type: none"> Düşük menzil Altyapı eksikliği Batarya teknolojisinin geliştirilmesi
Yarı elektrikli(hibrid)araç	<ul style="list-style-type: none"> Düşük yakıt masrafı Az fosil yakıt kullanımı sebebiyle düşük emisyon Yakıt çeşitliliği 	<ul style="list-style-type: none"> İki farklı motor kullanımından kaynaklı oluşabilecek donanımsal karışıklık Farklı teknolojilerin birlikte üretilmesi maliyetinin yüksek olması
Otonom araç	<ul style="list-style-type: none"> Sıfır emisyon gazı Ulaşım erişilebilirlik yüksek Trafik güvenliği yüksek 	<ul style="list-style-type: none"> Siber tehlike riski Altyapı eksikliği Bilgi eksikliği

2.2. Otonom araçların sensör ve izleme sistemleri

Gelişen teknolojinin de etkisiyle birlikte araçlarda çoklu otomasyon sistemi çalışmaları yapılmaktadır. Şekil 5’te de görülen araç-altyapı (V2I) ve araç-araç (V2V) iletişimi gibi bağlantılı araç teknolojileri mevcut problemler için yeterli çözümü sunmaktadır (Url6, 2022). Araç altyapı (V2I) iletişimi; otonom araçlar ile tüm yol veya trafik teknik altyapısı, aynı zamanda sinyalizasyon arası veri akışı anlamına gelmektedir. Araç-araç (V2V) iletişimi ise, otomobilin şerit değişimi, sollama, hız değiştirme durumları için diğer araçlarla iletişime geçerek veri aktarımı ve alımını yapması durumudur. Tüm araçlar araç-altyapı iletişimine dahil olduğunda optimum trafik akışının da sağlanacağı öngörülmektedir (Snyder, 2016).



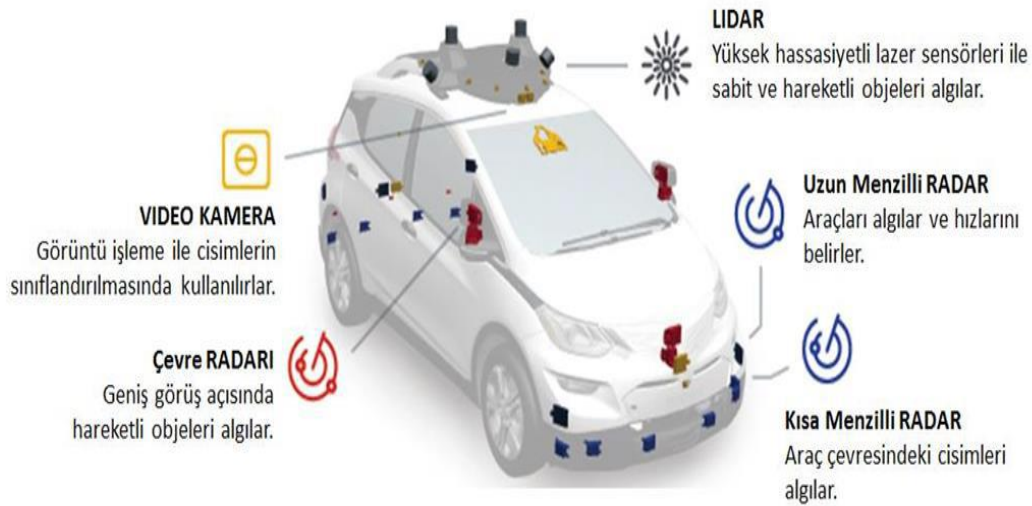
Şekil 5. Araç-Altyapı iletişimi (V2I)

Bu iletişimlerin yanı sıra araç üzerinde çevredeki durumu tarayarak izlemek için bazı teknolojiler bulunmaktadır. Bunlardan ilki çevre radarıdır. Bu radar kısa veya uzun menzilli olabilmektedir. Radar sensörler, 250 metre menzile kadar ve değişen hava koşullarında doğru sonuçlar vermektedir. Uzun menzil radar sistemleri ise, yoldaki diğer araçları tanımlamak için kullanılmaktadır (Shi, W., ve Liu, L., 2021). Elektromanyetik dalgalar yardımı ile çalışır. Öncelikli kullanım amacı, araç çevresinde bulunan nesne tespiti, çarpışma önleme, park yardımı ve kör nokta gözetimidir (Liu et al., 2020).

Otonom araçlar üzerinde bulunan bir diğer teknoloji ise LIDAR'dır. LIDAR, bir çeşit entegre optik tarayıcıdır ve bu frekans bandını kullanarak işleyen bir sistemdir. Bu sistemin avantajı yol üzerine yerleştirilen yol işaretleri, trafik sinyalizasyonu gibi nesnelerin yüksek çözünürlükte üç boyutlu imajını çıkarabilmesidir (Liu et al., 2020). Aynı zamanda ortam aydınlatması ile bağlı değildir. Doğruluk payı oldukça yüksek olan bu lazer tarayıcı sistemler 100 metre çaplı bir çevre taraması yapabilmektedir (Yiğit ve diğ., 2020). Bu sistemin dezavantajı hava muhalefetinin yoğun olduğu durumlarda performansının azalmasıdır.

Kamera tabanlı teknolojiler, araç etrafındaki nesne özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi sağlar, fakat hava ve ışık koşulları kötüleştiğinde konum, hız ve yörünge belirleme performansı kısıtlı olmaktadır. Aynı zamanda yüksek maliyetleri sebebiyle daha çok üst segment araçlarda talep görmektedir. Ultrasonik sensörler, hedef engele gönderilen ve geri gelen ses dalgaları yardımıyla mesafeyi hesaplayan sensörlerdir (Xu ve diğ., 2018). Bu sistemin avantajı bahsedilen diğer teknolojiler arasındaki en uygun fiyatlı sensör sistemi olmasıdır. Dezavantajlarına bakıldığında ise menzili kısadır ve hava koşullarından çabuk etkilenir. Üreticiler bu sensör tipini park yardımında uzun yıllardır kullanmaktadır (Campbell ve diğ., 2018).

Bahsi geçen sensör teknolojileri, uygulama alanlarına göre kullanılmakta ve küresel konumlandırma sistemleri (GPS) ile birleştirilmektedir. Araçlar edindikleri görüntü vb. verilerin ilkinin bu sistemlerden almaktadır. Araç dışı bilgiler, araç ile haberleşmeyi sağlayan diğer sistemler tarafından alınmaktadır. Araç donanımında yer alan sensörler, GPS verileri ve araç haberleşme sistemleri tarafından alınan tüm veriler bir araya getirilerek trafik durumu tahmini yapılabilmektedir. Tüm bunlar dışında otonom araçlarda çarpışma önleme otomasyon sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler, olası bir kaza durumunda aracı ya frenleme ya da yön değiştirme şeklinde yönlendirmektedir. (Karasahin ve Kızıldağ, 2021). Şekil 6'da bir otonom araçta kullanılan sensörler ve izleme cihazları görülmektedir (Urf17, 2022).



Şekil 6. Otonom araçlarda kullanılan sensör ve izleme cihazları

3. Otonom araçlar ve akıllı ulaşım sistemleri teknolojileri ile entegrasyonu

Otonom araçlar akıllı ulaşım sistemlerinde yer alan araç-altyapı veya araç-arac iletişim teknolojisinin kullanabilmektedir. Bu şekilde araç çevresiyle devamlı bir iletişim halinde kalabilmektedir. Dış çevrede yer alan engel veyahut nesnelere veri akışı sayesinde algılayabilmektedir. Aracın sınırları içerisinde aktif olan bağlantı, akıllı ulaşım sistemi (AUS) kurgusundaki anahtar kısımdır. Bahsi geçen ağ sayesinde araçlardan elde edilen veriler yardımıyla güvenlik, verimlilik ve hareketlilik için trafik yönetimini analiz ederek optimize edebilecektir. Örneğin, akıllı ulaşım sistemleri araçları trafik sıkışıklığı yaşanan bölgelere sevk edebilmektedir ve aynı zamanda trafiğin en yoğun olduğu zirve saatler ve bu saatler dışında karayolu hız sınırlarını ayarlayabilmektedir (Karaşahin ve Kızıldağ, 2021). Ayrıca otonom ve kooperatif teknolojileri yardımıyla birtakım özelliklerin yük ve otobüs hizmetlerine entegrasyonu yol kapasitelerinin artmasında hayati bir rol oynayabilir. Güvenilirlik, konfor ve zamanın algılanan değeri, uzun yolculuk mesafelerini teşvik edebilir (Faisal ve diğ., 2019).

Geleneksel araç paylaşım hizmetinin önündeki engellerin, sürücüsüz araçların yaygınlaştırılmasıyla çözülebileceği öngörülmektedir. “Hizmet olarak mobilite” (MaaS) kavramı da yarı otonom araçların tanıtımı ile uyumlu hale getirilebilir. Sürücüsüz taksinin geleneksel toplu taşıma hizmetini tamamlayacağı ve potansiyel olarak özel otomobil ve taksilerin yerini alabileceği düşünülmektedir. Çünkü yarı otonom araçların daha ucuz olması ve yolculuk sırasında çoklu görevleri kolaylaştırması beklenmektedir (Faisal ve diğ., 2019).

4. Otonom araçların toplum sağlığı üzerindeki etkileri

Otonom araçların toplum sağlığı üzerindeki potansiyel etkileri, otomasyon düzeyine, kullanım ve mülkiyet tipine, aynı zamanda motor tipine bağlı olarak değişebilmektedir (Rojas-Rueda ve diğ., 2019). Bununla birlikte, konuyla ilgili yapılan varsayımlar ilgili veri tabanına ve uzman görüşlerine dayanmaktadır (Winkle, 2016). Kaza veri tabanları incelendiğinde gerçekleşen çarpışmaların yaklaşık %93'ünün insan hatası nedeniyle meydana geldiğini göstermekte ve araçların tam otomasyonu durumunda bu rakamın tamamen göz ardı edilebileceği tahmin edilmektedir. Otonom araçların seviye 0 ve seviye 1 özellikleri bile trafik kazalarının üçte birini en aza indirme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir (Bagloee ve diğ., 2016). Mercedes-Benz üreticisi Daimler, 2010 yılında araç güvenliği ve çarpışma araştırmaları üzerine bir tahmin modeli yayınlamıştır ve bu model, artan otomasyonun kazaların 2020 yılına kadar %10, 2050 yılına kadar %50, 2060 yılına kadar %71 oranında azalmasıyla sonuçlanabileceğini öne sürmektedir (Winkle, 2016). ABD'de yapılan bir araştırma, ülkedeki araç filosunun %10 ve %90'ının otonoma dönüştürülmesinin yıllık kazaları sırasıyla 0,2 ve 4,2 milyon azaltacağını ve yılda sırasıyla 1.100 ve 21.700 insanın hayatını kurtarabileceğini öngörmektedir (Faisal ve diğ., 2019).

Otonom araçların toplum üzerindeki etkilerini doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayırmak mümkündür. “Doğrudan etkiler”, otonom araçları kullanan yolcuların karşılaştığı etkileri ifade eder. “Dolaylı etkiler”, otonom araçların yaygın şekilde uygulanmasından sonra ortaya çıkan ve daha geniş bir topluluğu etkileyen etkileri ifade eder (Rojas-Rueda ve diğ., 2019).

Trafik güvenliğinin artması, fiziksel aktivitenin artması ile sağlığın iyileşmesi, hava kirliliği emisyonu ve gürültünün azalması, elektromanyetik alanın artması, sürüş stresinin azalması, sosyal etkileşimleri artırması otonom araçların toplum sağlığı üzerindeki direkt etkileri arasındadır. Trafik sıkışıklığı, toplu taşıma üzerindeki etkisi, arazi kullanımı ve sağlıklı kentsel tasarım, sosyal eşitlik, ekonomi gibi konular da dolaylı etkiler olarak kabul edilmiştir. Genel olarak bakıldığında otonom araçlar, halk sağlığını etkileyecek yenilikçi bir ulaşım müdahalesidir. Trafik güvenliği ile ilişkili beklenen faydaların yanı sıra, otonom araçlar tamamen elektrikli (yenilenebilir kaynaklara bağlı olarak), araç paylaşımını bir formatta ve toplu ve aktif ulaşım modları ile entegre olarak uygulandığında, otonom araçlar halk sağlığı için büyük fırsatlar sunabilir.

5. Sonuç

Gelecekte nüfusun yarıdan fazlasının büyük kentlerde yaşaması beklenmektedir. Dolayısıyla gelişen teknolojiye ayak uydurmak suretiyle yaşam alanlarımızı daha kaliteli hale getirmek çok önemlidir. İleriki yıllarda oluşturulacak akıllı şehirlerde de gereken altyapıları hazırlamak bu uyumun ilk adımlarından olacaktır. Otonom sürüşün bu anlamda katkılarının büyük olacağı öngörülmektedir. Öncelikli olarak trafikte oluşan düzensizlik ve kaza oranını düşürmesi, trafik güvenliğini artırması, otopark alanlarının azalması sonucu yeşil alanların artması otonom araçların sağladığı katkılardan bazılarıdır. Bunların yanı sıra hava kirliliğini düşürmesi, dolaylı olarak ulaşım teknolojilerine ulaşmanın kolaylaşmasıyla şehirleşmeyi daha geniş bir alana yayması, yeni istihdam alanlarının açılması ve vatandaşların trafiğin rahatlaması ile psikolojik olarak daha sağlıklı hale gelmesi de sağlayacağı faydalar arasında bulunmaktadır.

Ayrıca sürücüsüz araçların lojistik, mobilite hizmeti gibi akıllı ulaşım sistemleri uygulamalarıyla entegre edilerek kullanılması başta engelli ve yaşlı bireylerin mobiliteye erişimini kolaylaştıracak ve bunun gibi birçok alanda hayat kalitemizi artıracaktır. Otonom araçların ve akıllı ulaşımın bazı dezavantajları ya da zorlukları olabilecektir. Ancak bu zorluklar, gerekli altyapı ve güvenlik önlemleri alındığı takdirde aşılamayacak problemler değildir. Bu gelişmelerin faydaları göz önünde bulundurulduğunda insanların yaşam kalitesini ortalamanın üstünde artıracığı öngörülmektedir.

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.

Referanslar

Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation.

Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., & Oliver, T. (2016). *Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies*. *Journal of Modern Transportation*, 24(4), 284–303. <https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3>

Campbell, S., O’Mahony, N., Krpalcova, L., Riordan, D., Walsh, J., Murphy, A., & Ryan, C. (2018). *Sensor Technology in Autonomous Vehicles: A review*. 29th Irish Signals and Systems Conference, ISSC 2018. <https://doi.org/10.1109/ISSC.2018.8585340>

Demir, Abdullah, et al. (2012). Geçmişten günümüze otomobil teknolojileri. Mimar ve Mühendis Dergisi 64, 60-63.

Faisal, A., Yigitcanlar, T., Currie, G., Journal, S., Use, L., & Yigitcanlar, T. (2019). Understanding autonomous vehicles Linked references are available on JSTOR for this article : Understanding autonomous vehicles : A systematic literature re- view on capability , impact , planning and policy. Journal of Transport and Land Use, 12(1), 45–72.

Özbay, H., Közkurt, C., DALCALI, A., & Tektaş, M. (2020). Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 3(1), 34-50.

Karasaşin, M., & Kızıltaş, M. Ç. (2021). Otonom Araçların Teknolojik Gelişim Süreci ve Trafik Seyir Özelliklerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9,1374–1381. <https://doi.org/10.29130/dubited.908525>

Litman, T. (2017). Autonomous vehicle implementation predictions (p. 28). Victoria, BC, Canada: Victoria Transport Policy Institute.

Liu, Z., Jiang, H., Tan, H., & Zhao, F. (2020). An Overview of the Latest Progress and Core Challenge of Autonomous Vehicle Technologies. MATEC Web of Conferences, 308, 06002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030806002>

Moorthy, A., De Kleine, R., Keoleian, G., Good, J., & Lewis, G. (2017). Shared autonomous vehicles as a sustainable solution to the last mile problem: A case study of Ann Arbor-Detroit area. SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems, 10(2).

Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Khreis, H., & Frumkin, H. (2019). Autonomous vehicles and public health. Annual Review of Public Health, 41(April), 329–345. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040119-094035>

Shi, W., & Liu, L. (2021). Autonomous Driving Simulators. In Computing Systems for Autonomous Driving (pp. 143-156). Springer, Cham.

Snyder, R. (2016). Implications of autonomous vehicles: A planner's perspective. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 86(12), 25.

Url1 <<https://tr.euronews.com/2016/09/27/dso-dunya-nufusunun-yuzde-92-si-kirli-hava-soluyor>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url2 <<https://blog.dogasigorta.com/otonom-surucusuz-araclar-nedir-nasil-calisir.html>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url3 <<https://motorlu.net/rehber/serit-takip-sistemi-nedir>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url4 <<https://www.arabam.com/blog/danisman/adaptif-cruise-control-nediracc-ve-nasil-calisir/>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url5 <<https://europe.autonews.com/article/20180508/ANE/180509829/in-self-driving-car-race-waymo-leads-traditional-automakers>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url6 <<https://www.its.dot.gov/v2i/>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Url7 <<https://muhendisbilir.com/otonom-araclar-ve-calisma-prensibi/>>, erişim tarihi 21.09.2022.

Webb, J., Wilson, C., & Kularatne, T. (2019). Will people accept shared autonomous electric vehicles. A survey before and after receipt of the costs and benefits. Economic Analysis and Policy, 61, 118–135.

Winkle, T. (2016). Safety benefits of automated vehicles: Extended findings from accident research for development, validation and testing. In Autonomous driving (pp. 335-364). Springer, Berlin,

Heidelberg.

Xu, W., Yan, C., Jia, W., Ji, X., & Liu, J. (2018). Analyzing and Enhancing the Security of Ultrasonic Sensors for Autonomous Vehicles. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(6), 5015–5029.

Yiğit, E., Oner, A. E., & Yöntem, O. (2020). Otonom Araçların Otomotiv Sektörüne Etkileri ve Beraberinde Getirdiği Yenilikler. *European Journal of Science and Technology*, November, 181–186. <https://doi.org/10.31590/ejosat.820722>

Araştırma Makalesi

Şehir geçişi hizmet sınıfındaki yollarda yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne bir öneri: Samsun örneği

Melis Dönmez Akın^{1,*}, Ufuk Kırbaş¹ Emre Akın¹

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey

*Correspondence: melisdonmez07@gmail.com

DOI: 10.51513/jitsa.1086347

Özet: Trafik yoğunluğuna cevap veremeyen kavşaklar, taşıt gecikmeleri, akaryakıt tüketimiyle oluşan enerji kayıpları, havaya salınan gazların ve çevresel taşıt gürültüsünün artması gibi olumsuzlukları barındırır. Çalışmada, Samsun ili içerisinde şehirleşmiş bir bölgede Batı Karadeniz transit trafiği ile şehir içi trafiğinin birlikte çalıştığı Atatürk Bulvarı üzerinde trafik hacmi oldukça yüksek birbirini takip eden dört adet dönel kavşakta özellikle yan yol katılımlarından kaynaklı hacim artışıyla ortaya çıkan sorunların giderilmesinde bir geometrik düzenleme önerisi analiz edilmiştir. Bu maksatla öncelikle havadan çekilmiş görüntüler yardımıyla mevcut trafik hacimleri belirlenmiş “Vissim” trafik simülasyon yazılımına işlenerek mevcut trafik sirkülasyonu kalibre edilmiştir. Devamında çözüm önerisi olarak sunulan yol geometrisi kalibre edilen trafik koşullarında simüle edilmiştir. İlaveten trafik hacmi artışı mevcut durum için %10 planlanan tasarım için ise %10 ve %20 oranlarında artırılarak mevcut ve önerilen yol geometrilerinin karşılıklı değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmelerde gecikme miktarları, ağın performans değerlendirmeleri ve araç seyahat süreleri gibi önemli trafik parametreleri başarımlı ölçütleri olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan tüm analiz sonuçlarına göre kuyruk uzunluğu, en büyük kuyruk uzunluğu ve araç gecikme süreleri parametrelerine göre Yeşilyurt, Mimar Sinan ve Ömürevleri kavşak kollarının %75’inde, Türkîş kavşak kollarının ise %100’ünde iyileşme sağlandığı ve trafiğin akıcı bir şekilde devam ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sinyalizasyon, vissim, sinyalize dönel kavşak, gecikme

A suggestion to solve the problems arising from side road participation in roads in the city crossing service class: the example of Samsun

Abstract: Intersections that cannot respond to traffic density have negativities such as vehicle delays, energy losses due to fuel consumption, increased gases released into the air and environmental vehicle noise. In the study, a geometric arrangement proposal was analyzed in order to eliminate the problems caused by the increase in volume, especially due to the side road participation, in four consecutive roundabouts with a very high traffic volume on Atatürk Boulevard, where the Western Black Sea transit traffic and the urban traffic work together in an urbanized region in the province of Samsun. For this purpose, firstly, current traffic volumes were determined with the help of aerial images, and the current traffic circulation was calibrated by processing them into the “Vissim” traffic simulation software. The road geometry, which is presented as a solution proposal, is simulated in calibrated traffic conditions. In addition, the traffic volume increase was increased by 10% for the current situation and 10% and 20% for the planned design, and a mutual evaluation of the existing and proposed road geometries was made. In the evaluations, important traffic parameters such as delay amounts, network performance evaluations and vehicle travel times were compared as performance measures. According to the results of all analyzes, according to the parameters of queue length, maximum queue length and vehicle delay times, it was observed that 75% of Yeşilyurt, Mimar Sinan and Ömürevleri junction branches and 100% of Türkîş junction branches improved and the traffic continued fluently.

Keywords: Signaling, vissim, signalized roundabout, delay

* Corresponding author. Melis Dönmez Akın

E-mail address: melisdonmez07@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6435-8947¹; 0000-0002-2389-425X²; 0000-0001-6423-4779³

Received 11.03.2022; accepted 20.06.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylul University.

1. Giriş

Ulaştırma, yük ve yolcuların bir noktadan başka bir noktaya taşınması olarak tanımlanmaktadır. Ulaştırma hizmetinin emniyetli, rahat, hızlı ve ekonomik olması ülkelerin kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sanayileşme süreciyle başlayan ekonomik gelişme ve nüfusun artışı ile taşıt sayıları giderek artmaktadır. Bu artış özellikle şehir içi trafik ağlarında çeşitli sorunların oluşmasına yol açmaktadır. Bu sorunların başında trafik kazaları, hava ve çevre kirliliği, trafik sıkışıklıkları ve gecikmeler gelmektedir. Kavşaklar, farklı doğrultulardan gelen trafik akımlarının kesişim noktaları olduğundan, yol ağı genelinde görülen trafik sirkülasyon sorunlarının büyük bir kısmı da kavşak bölgelerinde yaşanmaktadır (Murat, 1996).

Literatürde, karayolu ağlarında hemzemin kavşak problemlerinin çözümünde, muhtelif geometrik düzenleme önerileri ile başarımın artırıldığı çalışmalar dikkat çekmektedir. Maji vd. (2015) çalışmalarında, trafik hareketlerini bir ada tasarımıyla ayırarak sinyal devre süresini %40 oranında azaltmaya başarmışlardır. Çalışmada, tasarımın verimliliğini doğrulamak için Vissim simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Benzer şekilde Bayata ve Bayrak (2018), Erzurum ilinde kavşak olmayan bir bölgeye yarım yonca yaprağı şeklinde kavşak geometrisi önermişlerdir. Tasarım Vissim yazılımı kullanarak analiz edilmiş, seyahat süreleri ve taşıt gecikmelerinde %35, kuyruk uzunluklarında %83, egzoz emisyon oranlarında %23 oranında azalma olduğu görülmüştür. Vinayaka (2016) ise, üç adet kavşak verisini kullanarak doygunluk ve gecikme parametrelerini modellemiştir. Vissim’de kalibre ettiği kavşak modellerinde gecikmeyi azaltacak çözümler önermiştir. Shaaban ve Kim (2015), iki ve üç şerit katımlı kavşakları; trafik hacmi, taşıtların sola dönüş oranları ve ağır taşıt oranı değişimi gibi farklı senaryolarda modellemiştir. Modellemelerde SimTraffic ve Vissim simülasyon yazılımları kullanmış ve bu iki programın performanslarını karşılaştırmış, anlamlı farkların oluşmadığını vurgulamışlardır. Uludamar ve Tüccar (2018) çalışmalarında, Adana ilinde bir dönel kavşağı incelemişler, faz planlarındaki değişimin kuyruk uzunluğu, taşıt gecikmeleri, araç emisyon oluşumuna etkilerini araştırmışlardır. Vissim yazılımında oluşturulan modelde yalnızca yeni planlama ile seyahat sürelerinde %14,7, kuyruklanma mesafelerinde %27,3 ve araç emisyonlarında yaklaşık %20 iyileşmenin sağlanabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca Tianzi vd. (2013), Buck vd. (2017) ve Arfat vd. (2020) gibi araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda geometrik düzenleme yapmaksızın yalnızca sinyalizasyon düzeninin doğru seçilmesi ile kavşak başarımın artırılabilmesine dikkat çekmişlerdir.

Öte yandan literatürde, kavşakların yanında yol koridorlarında da geometrik düzenlemenin etkilerinin araştırıldığı çalışmalar karşımıza çıkmaktadır. Yavuzylmaz ve Dünder (2017), çalışmalarında 15 Temmuz Şehitler Köprüsü katılımda gişe sahası kaldırılıp, ek şerit uygulamasından da vazgeçildiğinde ortalama taşıt gecikmelerinde %16,26, duraklamalardan kaynaklı gecikmelerde %28,17 oranında azalmanın sağlandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, düzenleme ile taşıt ortalama hızlarında %16,32 oranında artış görüldüğü belirtilmiştir. Benzer şekilde Stanek (2019) Vissim yazılımı ile analizlerini tamamladığı çalışmasında geometrik düzenleme ile otoyol katılımda kapasitenin %36 oranında artırılabilmesine dikkat çekmiştir. Arkatkar vd. (2016) ve Maitra vd. (2004) tarafından yapılan araştırmalarda yoğun trafik koşullarının hakim olduğu yol koridorlarında katlı kavşak çözümlerinin etkinliğini karşılaştıran analizler yer almaktadır. Lin vd. (2013) ise çalışmalarında tek yön uygulamasının trafik sirkülasyonu üzerindeki başarımını araştırmışlardır. Çalışmada Çin’in Pekin merkezi iş bölgesindeki karayolu ağı Vissim yazılımı aracılığıyla modellenerek ortalama seyahat süresi, ortalama seyahat hızı, kuyruk uzunluğu ve ortalama taşıt gecikmesi parametrelerine göre tek yön uygulamasının başarı sağladığı tespit edilmiştir.

Ayrıca araştırmacılar belirli bir koridor ya da bölgedeki trafiği Vissim simülasyon yazılımında modellemiş sahadan topladıkları trafik etüd verileri ile kalibrasyonlarını sağlamışlardır. Elde edilen bu matematik sorgulama altyapısı ile sirküle olan trafiğin parametre değerlerini belirlemişlerdir. Suleiman vd. (2016) çalışmalarında 15 Temmuz Şehitler Köprüsü’nün batı sınır yaklaşımı boyunca etkili olan D100 koridorunda 5,7 km uzunluğunda bir kesimde hız yönetimi uygulamasının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Akıllı Ulaşım Sistemlerine (AUS) de altlık oluşturan hız yönetimin yaklaşımın uygulanması durumunda ortalama taşıt gecikmelerinin %7 oranında arttığı, 36 km/sa akım hızında trafik hacminin ise %17 oranında arttığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Kandregula vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada hız yönetimi yaklaşımının seyahat sürelerini %17 oranında, taşıt gecikmelerini ise neredeyse %40 oranında azalttığı açıklanmıştır. Karakikes vd. (2016) tarafından Almanya’nın Baviera

eyaletinde ve Stogios vd. (2019) tarafından Kanada'nın Toronto şehrinde yapılan çalışmalarda AUS temelini oluşturan sistemlerin uygulanması durumunda %20'lere yakın gecikmelerin azaltılmasında %30'lara yakın çevreye salınan zararlı gazların azaltılmasında başarımın sağlandığı kayıtlara geçmiştir. Hatta, Erol (2018)'ün çalışmasında trafik sirkülasyonunun iyileştirilmesinin hemzemin kavşaklarda %40 - %60 aralığında karşılaşılan kazaların azaltılmasında etkili olduğunun altı çizilmiştir.

Bu bölümde incelenen çalışmaların çeşitli parametrelere göre sonuçlarının karşılaştırılması Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Örnek çalışmalara ait sonuçların karşılaştırılması

Yazar	Yer	Gecikmeler	Kuyruk Uzunluğu	Egzoz Emisyon	Seyahat Süresi
Kandregula vd. (2013)	Hindistan Hyderabad	%40,00	-	-	%18,00
Yavuzylmaz ve Dünder (2017)	İstanbul	%16,26	-	-	-
Uludamar ve Tüccar (2018)	Adana	-	%27,30	%20,64	%14,70
Bayata ve Bayrak (2018)	Erzurum	%35,00	%83,00	%23,00	%35,00

Bu çalışmada, Samsun ilinde hem kentsel taşıt trafiğine hem de bölgesel transit geçişlerine hizmet eden Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan dört adet kavşakta, geometrik düzenleme ile taşıt kapasitesinin artırılmasının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Analizlerde koridorun bütünündeki platform kesiti ile benzerlik gösteren Yeşilyurt, Mimar Sinan, Türkiş ve Ömürevleri sinyalizasyonlu dönel kavşakları değerlendirmeye alınmıştır. Değerlendirme için kullanılan uygulama yazılımının kısıtlarından dolayı çalışma alanı dört adet kavşakla sınırlanmıştır. Seçilen bu kavşakların koridorun bütününe trafik karakteristiğini yansıttığı öngörülmüştür. Öncelikle çalışma alanında zirve saatlerde video kayıtları yapılarak ve görüntüler gözle çözümlenerek trafik hacim verileri elde edilmiştir. Ulaşılan veriler, kavşaklarda uygulanan faz planları ve kavşakların geometrik özellikleri Vissim simülasyon yazılımına girdi oluşturacak şekilde kesişme noktalarında dönel kavşakların sirkülasyonu yönlendirdiği mevcut koridor sayısal ortamda modellenmiştir. Mevcut haliyle 2x3 şeritli ve koridorun güney bandında çift yönlü 2 şeritli yan yol olarak çalışan ve mevcut trafik koşulları için kalibre edilen yol kesiti, yan yolları da ana koridora dahil edecek şekilde 2x4 şeritli olarak yeniden modellenmiştir. Devamında çözüm önerisi olarak sunulan yol geometrisi kalibre edilen trafik koşullarında simüle edilmiştir. İlaveten trafik hacmi artışı mevcut durum için %10 planlanan tasarım için ise %10 ve %20 oranlarında artırılarak mevcut ve önerilen yol geometrilerinin karşılıklı değerlendirmesi yapılmıştır.

Değerlendirmelerde gecikme miktarları, ağın performans değerlendirmeleri ve araç seyahat süreleri gibi önemli trafik parametreleri başarım ölçütleri olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğunda bulunan yol ağında şehir geçişi hizmet sınıfındaki yollarda olup protokollerle devredilen veya yoğun şehirleşme bölgesinde kalması sebebiyle KGM tarafından alternatifleri üretilerek ilgili belediyelere geçen karayolu koridorlarında yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne bir öneri olacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda geliştirilen kavşak geometrisi önerisi ile özellikle yüksek trafik hacmine sahip yan yol katılımlarının çok şeritli ana koridor üzerindeki olumsuz etkisinin en aza indirilebileceği çok açıktır.

2. Materyal ve yöntem

Çalışmanın bu bölümünde değerlendirilen koridor ve kavşakların geometrileri, kullanılan sinyalizasyon devre planları ile kalibrasyon süreci açıklanmıştır.

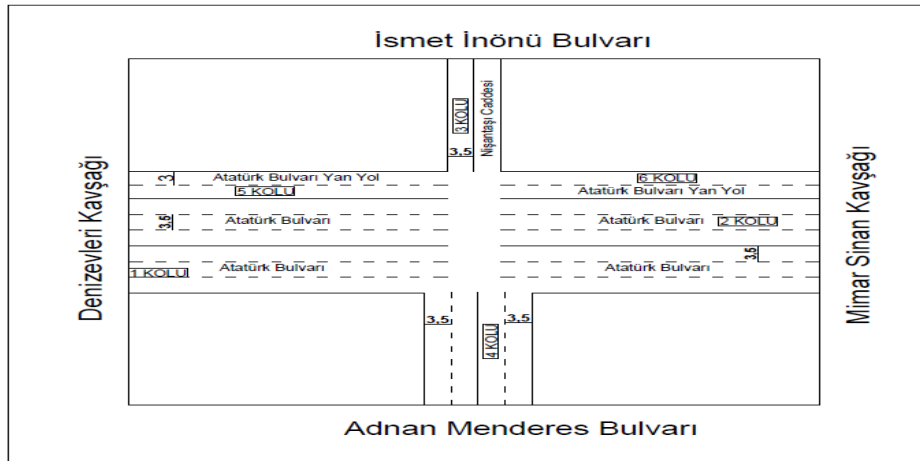
2.1. Çalışma alanı ve mevcut geometri

Çalışmada Samsun ili Atatürk Bulvarı üzerinde yer alan ve koordineli olarak çalışan ayrıca trafik hacimleri oldukça yüksek olan Yeşilyurt, Mimar Sinan, Türkis ve Ömürevleri sinyalize dönel kavşakları incelenmiştir. Atatürk Bulvarı üzerinde ana koridor boyunca aynı trafik akımının üzerinden geçtiği bu kavşakların aralarındaki mesafe yakın olduğundan kavşaklar için üretilen çözüm önerileri de trafik akımlarının etkileşimleri bakımından önem arz etmektedir. Arazi çalışmalarında Yeşilyurt Kavşağı ile Mimar Sinan Kavşağı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 495 metre, Mimar Sinan Kavşağı ile Türkis Kavşağı arasındaki mesafe yaklaşık olarak 1014 metre ve Türkis Kavşağı ile Ömürevleri Kavşağı arasındaki mesafe 1108 metre olarak ölçülmüştür. Çalışmada analiz edilen ulaşım koridoru Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Samsun Atatürk Bulvarı üzerinde yer alan Yeşilyurt, Mimar Sinan, Türkis ve Ömürevleri kavşakları

Kavşakların mevcut çalışma durumunu bilgisayar ortamına taşıyabilmek için, diğer bir değişle kalibrasyon için kullanılan trafik sayımları, trafik yoğunluğunun fazla olduğu pazartesi günü 17.30 – 18.30 saatleri arasında yapılmıştır. Kavşak üzerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılarak trafik video kayıtları oluşturulmuş ve kayıt edilen videolar üzerinden manuel olarak trafik hacimleri sayılmıştır. Değerlendirilen koridorda kavşaklara tipik bir örnek kavşak olarak çalışma kapsamında incelenen Yeşilyurt kavşağının fiziksel özellikleri Şekil 2’de görülmektedir.

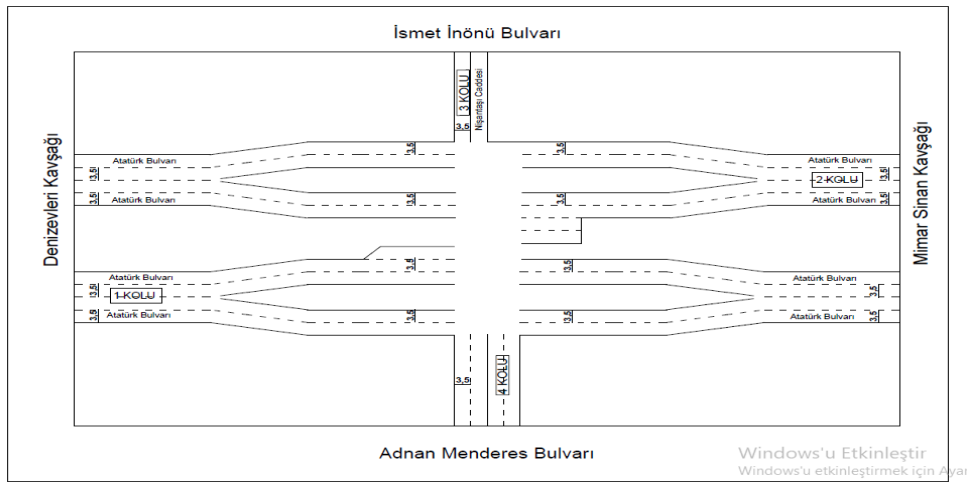


Şekil 2. Mevcut durumda Yeşilyurt Kavşağı

2.2. Planlanan kavşak geometrisi

Planlanan tasarımda, öncelikle trafik yoğunluğunun fazla olması sebebiyle mevcutta bulunan sinyalize dönel kavşak kaldırılarak dönel olmayan, sinyalize kavşak uygulamasına geçilmiştir. Ayrıca yine mevcutta bulunan tek şerit gidiş ve tek şerit dönüş olan Atatürk Bulvarı yan yolu da iptal edilmiştir. Yol

platformu her bir yön için kavşak bölgelerinde en az kavşağın 200 m öncesi ve sonrası yol kesimlerinde, sola dönüş rampası (1 ya da 2 şerit), 2 şerit devam eden ve 2 şerit sağa dönen ya da devam eden olmak üzere 4 şerit ve sola dönüş şerit(ler)i şeklinde tekrar tasarlanmıştır. Koridorun kavşak bölgeleri dışında kalan kesimlerinde 2x4 şeritli bir tasarım öngörülmüştür. Tasarımda şerit genişlikleri 3,5 metre olarak planlanmıştır. Tekrar vurgulamak gerekirse kavşak bölgelerinde 4 şerit olarak devam eden yol platformunda mevcut her bir kavşak bölgesinde öncesinde arada geçiş olmayacak şekilde iki şerit sağ ve iki şerit sol gidiş istikametinde ayrılmıştır. Sağ tarafta kalan iki şerit, düz devam eden araçlar ve sahile dönen araçlar için ayrılmıştır. Sol tarafta kalan iki şerit yaklaşık olarak 60 metre kadar devam edip 2 şerit ve sola dönüş şeritlerine bağlanmıştır. Buradan kavşak bölgesini geçip düz devam edecek olan araçlar bu şeritlerden sağ tarafta kalan 2 şeridi kullanmaya zorlanmıştır. Sola dönüş yapmak isteyen araçlar yine bu şeritlerden sol tarafta sola dönüş şeritleri ve U dönüşü yapmak isteyen araçlar ise bu sola dönüş şeritlerinden en soldaki şeridi kullanmaları öngörülmüştür. Öte yandan, U dönüşü yapmak isteyen araçlar kavşak bölgesine gelmeden yaklaşık 35 - 40 metre öncesinde karar verip U dönüşü yapmak zorunda bırakılmıştır. Tasarımda trafik akımının aksamaması ve akıcı bir şekilde devam etmesi için ayrılan şeritler arasında geçiş bulunmamaktadır. Basit delinatörler yardımıyla hayata geçirilebilecek bu tasarımda, kavşak bölgelerinden sonra yolun önce ayrı ayrı iki şerit olarak yaklaşık 180 - 200 metre daha devam edip sonrasında birleşerek dört şerit şeklinde devam etmesi tasarlanmıştır. Planlanan tasarımın Yeşilyurt kavşağını betimleyen tipik gösterimi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Planlanan durumda Yeşilyurt Kavşağı

Açıklamaların daha rahat anlaşılması ve görsel olarak ifade edilebilmesi açısından Yeşilyurt kavşağının mevcut hali ve planlanan hali sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmektedir. Ayrıca, geometrileri neredeyse bütünüyle birbirine benzeyen Mimar Sinan, Türkis ve Ömürevleri kavşaklarının mevcut halleri ve planlanan halleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Mevcut Yeşilyurt kavşağı



Şekil 5. Planlanan Yeşilyurt kavşağı



Şekil 6. Mevcut tipik Mimar Sinan, Türkış ve Ömürevleri kavşakları



Şekil 7. Planlanan tipik Mimar Sinan, Türkış ve Ömürevleri kavşakları

2.3. Kalibrasyon süreci ve model analizleri

İHA video görüntülerinden elde edilen 1 saatlik trafik sayımlarına göre; Yeşilyurt kavşağında 5226 araç, Mimar Sinan kavşağında 5351 araç, Türkış kavşağında 6393 araç, Ömürevleri kavşağında 5439 taşıtın

geçtiği tespit edilmiştir. Havai çekim görüntülerden trafik hacim değerleri sayılırken; otomobil, otobüs, minibüs, midibüs, kamyon, tır, ticari araç ve motosiklet sınıfları dikkate alınmıştır. Ayrıca model kalibrasyonunda, her bir taşıt türü için sahada gözlemlenen hız dağılımlarına uygun veriler girilmiş, böylece modelin gerçeğe yakınlığı artırılmıştır.

Mevcut trafik sayımlarından elde edilen sonuçlar Yeşilyurt, Mimar Sinan, Türkış ve Ömürevleri sinyalizasyon dönel kavşakları için Vissim Simülasyon programına girilerek benzetim analizi yapılmıştır. Burada taşıt cinsleri, taşıt hız limitleri, mevcut sinyalizasyon sistemi esas alınarak kalibrasyon yapılmış ve kuyruk uzunlukları, en büyük kuyruk uzunlukları, araç gecikme süreleri, araçların ortalama seyahat süreleri sonuçlarına ulaşılmıştır. Aynı zamanda trafik sayım sonuçları %10 oranında artırılarak yeniden analiz yapılmıştır. Ancak mevcut trafik hacmi ile yapılan analizde bile yetersiz kalan kavşak geometrileri trafik hacmi %10 artırıldığında büyük oranda trafiğin kilitlenmesine ve aksamasına neden olmuştur.

Aynı trafik hacim verileri, araç cinsleri ve ortalama hızları esas alınarak dönel kavşak uygulamasından vazgeçilmiş ve sinyalizasyon kavşak modellemeleri yapılmıştır. Yeni tasarlanan kavşaklardan elde edilen sonuçların başarılı olduğu görülmüş olup trafik hacim verileri aynı şartlar altında %10 ve %20 oranlarında artırılarak analizler tekrarlanmış ve ortalama kuyruk uzunlukları, en büyük kuyruk uzunlukları, araç gecikme süreleri, araçların ortalama seyahat süreleri sonuçlarına ulaşılmıştır. Mevcut durumdaki kavşak geometrisi ve tasarlanan kavşak geometrisinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

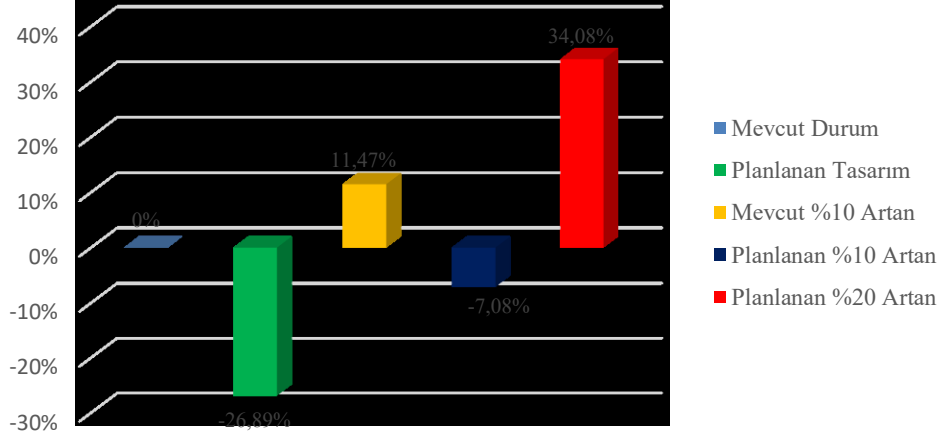
2.4. Sinyalizasyon faz düzenleri

Çalışmada mevcut durumdaki kavşak geometrisinin işletiminde kullanılan ve önerilen geometrik tasarımda kullanılması uygun görülen faz düzenleri burada kısaca açıklanmıştır. Mevcut durumu ifade eden ve tüm kavşaklarda aynı olduğu gözlemlenen faz planı saha gözlemlerinden elde edilen verilerle modele uygulanmış, önerilen geometrik tasarımda öngörülen faz düzeni ise tüm kavşaklarda aynı olacak şekilde kurgulanmıştır. Ayrıca tasarımın analizlerinde kullanılan sinyal süreleri tüm kavşaklarda aynı olacak şekilde Webster yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1’de mevcut kavşaklarda kullanılmakta olan 80 saniye devre süresine ve iki faz düzenine sahip tipik faz planı gösterilmiştir. Burada ana yola yan yollardan yapılan katılımlar sonucunda ciddi kesişimler meydana gelmekte olup kavşak bölgesinde sıkışıklığa neden olmaktadır. Bunun bir çözümü için Çizelge 2’de belirtilen 110 saniyelik devre süresine ve dört faza sahip olacak şekilde tasarlanan faz planı gösterilmiştir.

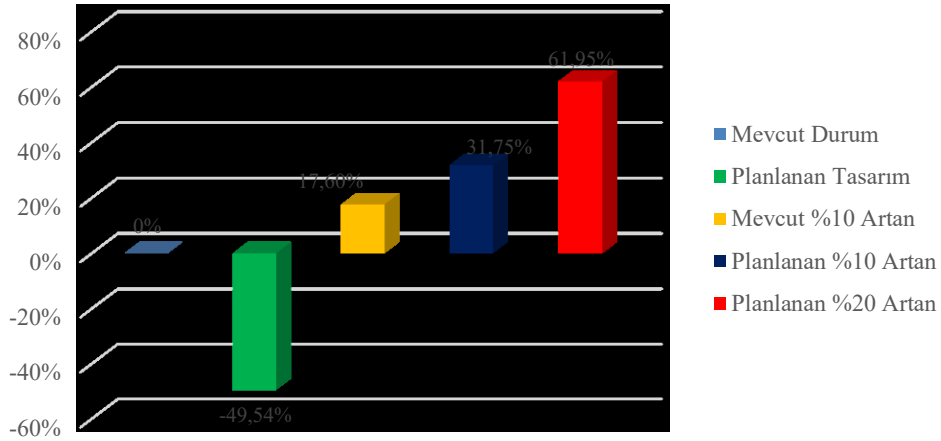
Merkez-Üniversite (Ana Yol)								
Üniversite-Merkez (Ana Yol)								
İsmet İnönü-Adnan Menderes Bulvarı								
Adnan Menderes-İsmet İnönü Bulvarı								
Merkez-Üniversite (Yan Yol)								
Üniversite-Merkez (Yan Yol)								
SÜRELER	2	43	3	2	2	22	4	2

Çizelge 1. Mevcut sinyal faz planı



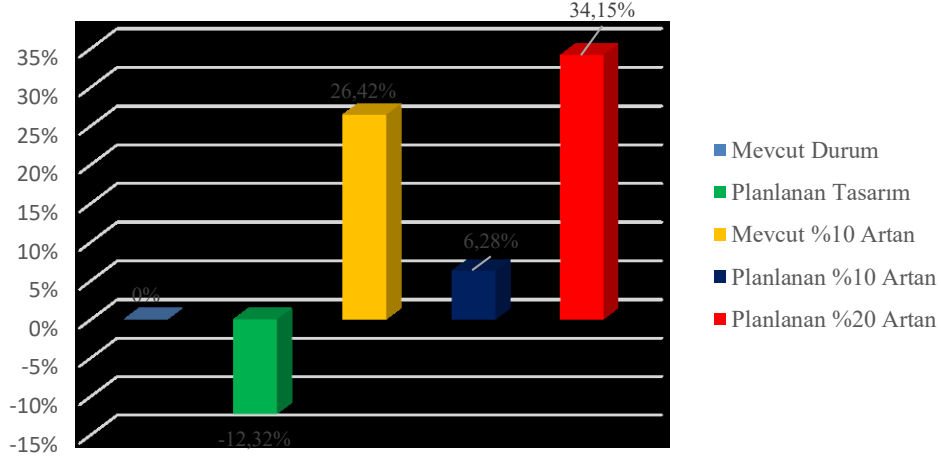
Şekil 11. Yeşilyurt kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için en büyük kuyruk uzunluklarının yüzelik olarak karşılaştırılması.

En büyük kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 11’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama en büyük kuyruk uzunluklarında %26,89 azalma görülmüştür. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 artırıldığı durumda bile mevcut geometriye göre en büyük kuyruk uzunluklarının %7,08 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



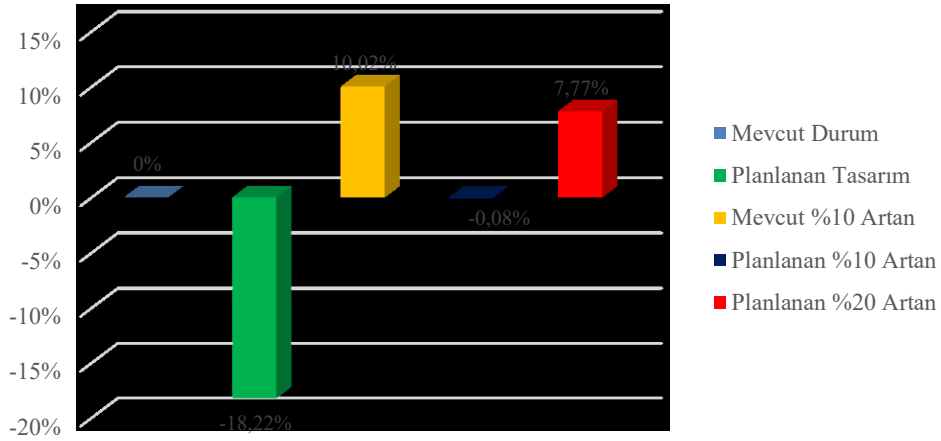
Şekil 12. Yeşilyurt kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için araç gecikme sürelerinin yüzelik olarak karşılaştırılması.

Araç gecikme sürelerinin karşılaştırıldığı Şekil 12’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarındaki ortalama araç gecikme süreleri %49,54 azalmıştır.



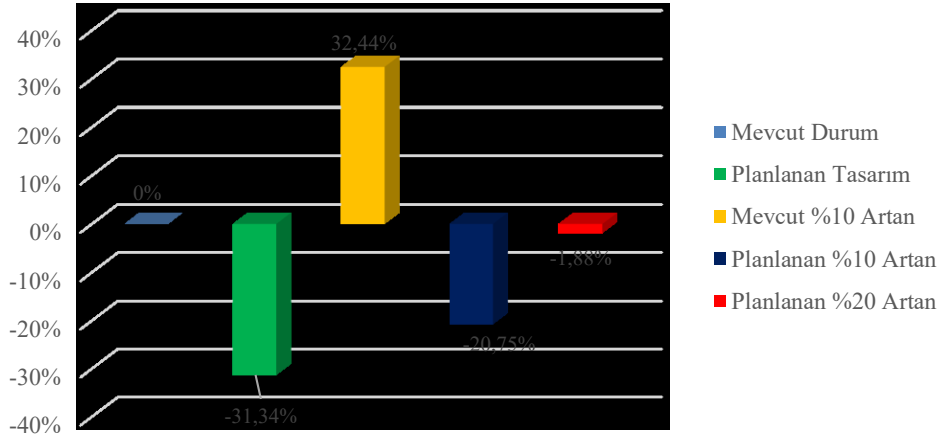
Şekil 13. Mimar Sinan kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için kuyruk uzunluklarının yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

Mimar Sinan kavşağında mevcut durum ve planlanan tasarım için kavşak geometrileri Şekil 8 ve 9’da gösterilmiştir. Kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 13’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama kuyruk uzunluğu %12,32 azalmıştır.



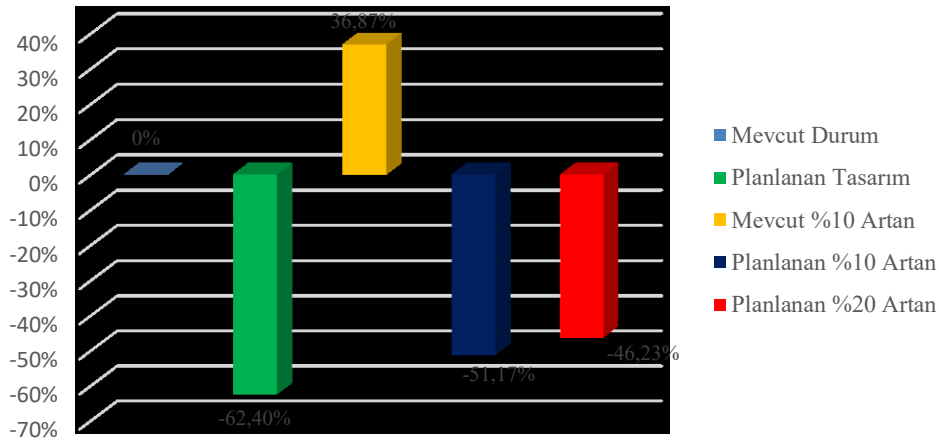
Şekil 14. Mimar Sinan kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için en büyük kuyruk uzunluklarının yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

En büyük kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 14’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama en büyük kuyruk uzunluklarında %18,22 azalma görülmüştür. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 artırıldığı durumda bile mevcut geometriye göre en büyük kuyruk uzunluklarının %0,08 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



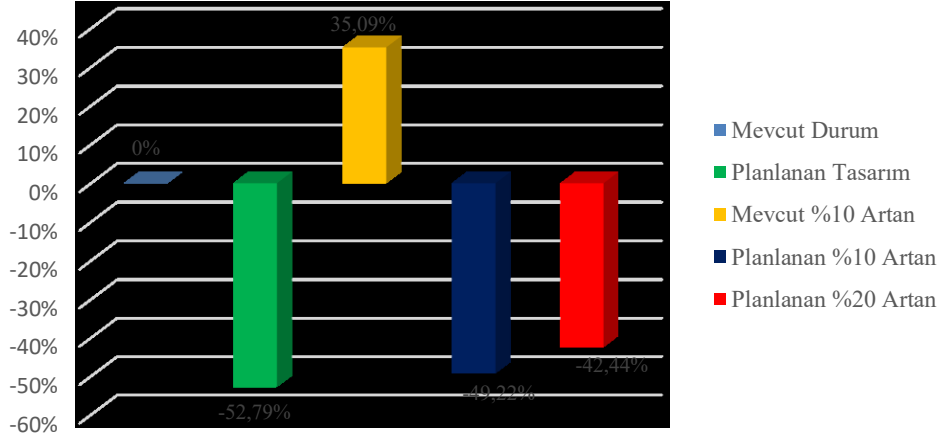
Şekil 15. Mimar Sinan kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için araç gecikme sürelerinin yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

Araç gecikme sürelerinin karşılaştırıldığı Şekil 15’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarındaki ortalama araç gecikme süreleri %31,34 azalmıştır. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 ve %20 artırıldığı durumlarda bile mevcut geometriye göre araç gecikme sürelerinin sırasıyla %20,75 ve %1,88 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



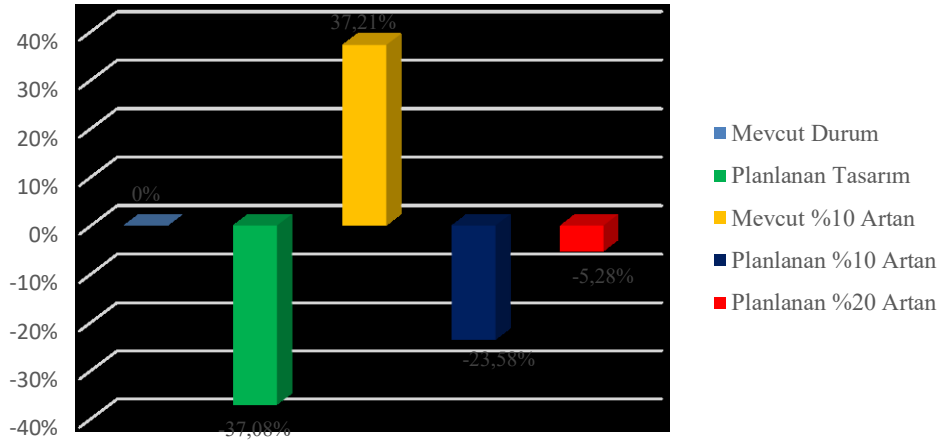
Şekil 16. Türkçe kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için kuyruk uzunluklarının yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

Türkçe kavşağında mevcut durum ve planlanan tasarım için kavşak geometrileri Şekil 8 ve 9’da gösterilmiştir. Kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 16’da görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama kuyruk uzunluğu %62,4 azalmıştır. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 ve %20 artırıldığı durumlarda bile mevcut geometriye göre kuyruk uzunluklarının sırasıyla %51,17 ve %46,23 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



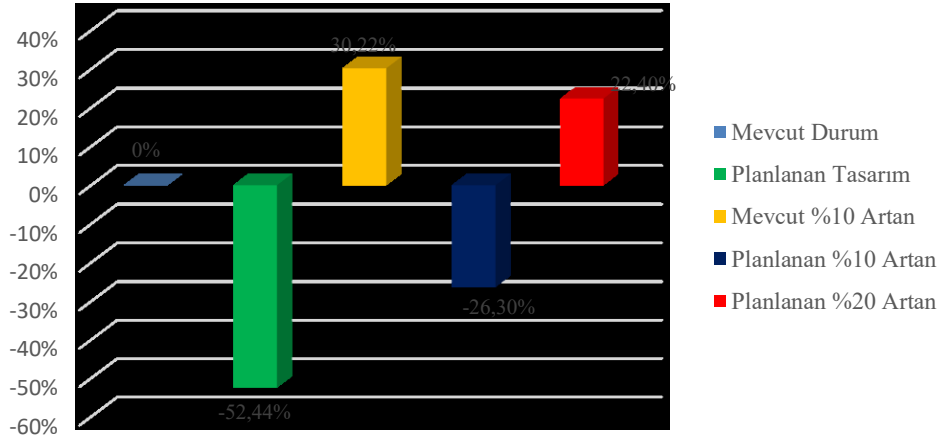
Şekil 17. Türkış kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için en büyük kuyruk uzunluklarının yüzdelerik olarak karşılaştırılması.

En büyük kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 17’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama en büyük kuyruk uzunluklarında %52,79 azalma görülmüştür. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 ve %20 artırıldığı durumlarda bile mevcut geometriye göre en büyük kuyruk uzunluklarının sırasıyla %49,22 ve %42,44 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



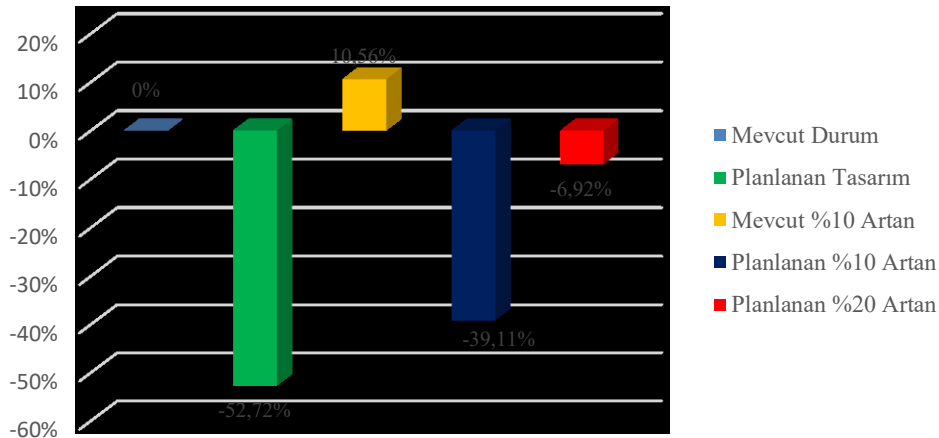
Şekil 18. Türkış kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için araç gecikme sürelerinin yüzdelerik olarak karşılaştırılması.

Araç gecikme sürelerinin karşılaştırıldığı Şekil 18’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarındaki ortalama araç gecikme süreleri %37,08 azalmıştır. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 ve %20 artırıldığı durumlarda bile mevcut geometriye göre araç gecikme sürelerinin sırasıyla %23,58 ve %5,28 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



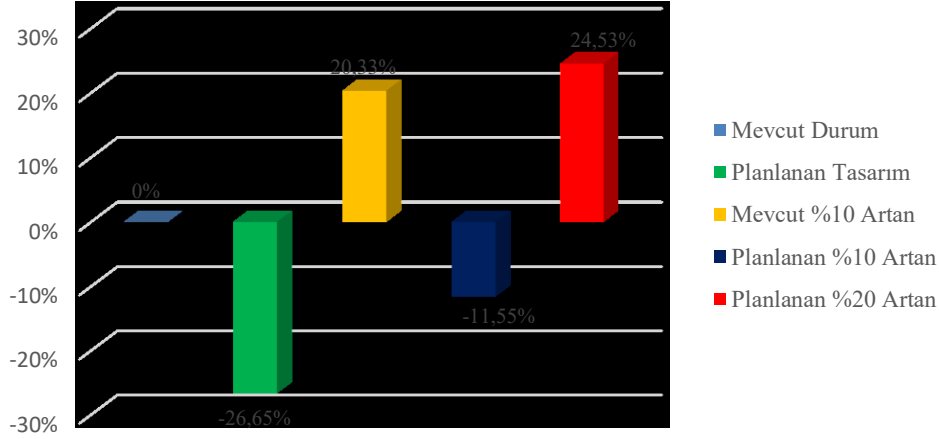
Şekil 19. Ömürevleri kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için kuyruk uzunluklarının yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

Ömürevleri kavşağında mevcut durum ve planlanan tasarım için kavşak geometrileri Şekil 8 ve 9'da gösterilmiştir. Kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 19'da görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama kuyruk uzunluklarında %52,44 azalma görülmüştür. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 artırıldığı durumda bile mevcut geometriye göre kuyruk uzunluklarının %26,30 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



Şekil 20. Ömürevleri kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için en büyük kuyruk uzunluklarının yüzdeleri olarak karşılaştırılması.

En büyük kuyruk uzunluklarının karşılaştırıldığı Şekil 20'de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarının ortalama en büyük kuyruk uzunluklarında %52,72 azalma görülmüştür. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 ve %20 artırıldığı durumlarda bile mevcut geometriye göre en büyük kuyruk uzunluklarının sırasıyla %39,11 ve %6,92 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.



Şekil 21. Ömürevleri kavşak kollarının mevcut ve planlanan tüm durumları için araç gecikme sürelerinin yüzdelik olarak karşılaştırılması.

Araç gecikme sürelerinin karşılaştırıldığı Şekil 21’de görüldüğü üzere planlanan tasarımda mevcut geometriye göre kavşak kollarındaki ortalama araç gecikme süreleri %26,65 azalmıştır. Ayrıca planlanan tasarıma göre mevcut trafik hacminin %10 artırıldığı durumda bile mevcut geometriye göre araç gecikme sürelerinin %11,55 azaldığı görülmüştür. Bu sonuç planlanan kavşak geometrisinin mevcut kavşak geometrisine göre daha başarılı olacağını göstermektedir.

4. Sonuç

Çalışmada, Samsun ilinin önemli bir ana ulaşım koridoru olan Atatürk Bulvarı üzerinde bulunan Yeşilyurt, Mimar Sinan, Türkiş ve Ömürevleri kavşaklarında meydana gelen ve özellikle kavşak bölgesine yan yol katılımlarından kaynaklanan sorunların çözümüne ilişkin bir geometrik tasarımın uygulanabilirliği araştırılmıştır. Trafik sirkülasyonunun değerlendirilmesi için Vissim simülasyon yazılımı kullanılarak mevcut ve planlanan kavşak geometrilerinin benzetim yapılmıştır. Analizler sonucu mevcut geometride ve tasarlanan geometride elde edilen kuyruk uzunlukları, en büyük kuyruk uzunlukları, araç gecikme süreleri, araçların ortalama seyahat süreleri gibi trafik parametreleri kullanılarak tasarımın verimliliği incelenmiştir.

Yapılan tüm analiz sonuçlarına göre mevcut durumlarında sinyalizasyon dönel kavşakların Atatürk Bulvarı üzerinde devam eden trafik hacmine uygun dönüşler için ihtiyaç duyulan yeterli depolama kapasitelerine sahip olmadıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle sinyalizasyon dönel kavşak uygulamasından vazgeçilip sinyalizasyon kavşak uygulamasına geçilmesinin, ayrıca yan yolların iptal edilerek ana akım üzerinde şerit sayılarının artırılmasının doğru olacağı öngörülmüştür. Çalışmada sinyalizasyon faz planı ve devre sürelerinin değiştirilmesiyle birlikte ortalama kuyruk uzunluğu, en büyük kuyruk uzunluğu ve araç gecikme süreleri parametrelerine göre Yeşilyurt, Mimar Sinan ve Ömürevleri kavşak kollarının %75’inde, Türkiş kavşak kollarının ise %100’ünde iyileşme sağlandığı ve trafiğin akıcı bir şekilde devam ettiği görülmüştür.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Çalışma herhangi bir destek almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Kaynakça

- Arkatkar, S., Velmurugan, S., Puvvala, R., Ponnu, B., & Narula, S.** (2016). Methodology for simulating heterogeneous traffic on expressways in developing countries: A case study in India. *Transportation Letters*, 8(2), 61–76. <https://doi.org/10.1179/1942787515Y.0000000008>
- Bayata, H., F. & Bayrak, O. Ü.** (2018). Yeni yapılması planlanan bir kavşağın mikro-simülasyon ile modellenmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11:3, 550-559. doi: 10.18185/erzifbed.441327.
- Buck, H. S., Mallig, N., & Vortisch, P.** (2017). Calibrating vissim to analyze delay at signalized intersections. *Transportation Research Record*, 2615(1), 73–81. <https://doi.org/10.3141/2615-09>
- Çetinkaya, G.** (2008). *Işıklı kavşaklarda değişik hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Erol, D.** (2018). *Kentiçi ışıklı ve dönel kavşak uygulamalarının performans kriterlerine etkisi: Denizli örneği*. [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi].
- Kandregula, H., P., Shankar, C., S., R., K., Prasad, K. & Reddy, T.,S.** (2013). Evaluation area traffic management measures using microscopic simulation model. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 104, 815-824.
- Karakikes, I., Spangler, M. and Margreiter, M.** (2016). Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements. *Transportation Research Procedia*, 24, 171-179. doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.086.
- Lin, D., Yang, X. & Gao, C.,** (2013). Vissim-based simulation analysis on road network of CBD in Beijing, China. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 96, 46-472.
- Maitra, B., Azmi, M., Kumar, N., & Sarkar, J.** (2004). Modeling Traffic Impact of Flyover at an Urban Intersection Under Mixed Traffic Environment. *European Transport* 27, 57–68.
- Maji, A., Maurya, A. K., Nama, S., & Sahu, P. K.** (2015). Performance-based intersection layout under a flyover for heterogeneous traffic. *Journal of Modern Transportation*, 23(2), 119–129. <https://doi.org/10.1007/s40534-015-0072-4>
- Murat, Y. Ş.** (1996). *Denizli şehir içi kavşaklarındaki trafik akımlarının bilgisayarla incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi].
- Murat, Y. Ş.** (2012). *Trafik Mühendisliği Ders Notları*. [Pamukkale Üniversitesi, Denizli].
- Shaaban, K. and Kim, I.** (2015). Comparison of SimTraffic and Vissim microscopic traffic simulation tools in modeling roundabouts. *Procedia Computer Science*, 52, 43-50. doi: 10.1016/j.procs.2015.05.016.
- Stanek, D.** (2019). A procedure to estimate the effect of autonomous vehicles on freeway capacity. *Transportation Research Board 98th Annual Meeting 702 (January)*.
- Stogios, C., Kasraian, D., Roorda, M.J., Hatzopoulou, M.** (2019). Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions. *Transport. Res. Part D: Transp. Environ.* 76 (October), 176–192. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.09.020>
- Suleiman, G., M., Bezgin, N., Ö., Ergun, M., Gürsoy, M. and KaraÇahin, M.** (2016). Effects of speed management and roadway parameters on traffic flow along arterials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 170, 346-362.
- Tianzi, C., Shaochen, J. and Hongxu, Y.** (2013). Comparative study of Vissim and Sidra on signalized intersection. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 96, 2004-2010. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.08.226.
- Uludamar, E. & Tüccar, G.** (2018). Comparison of traffic densities at different signalization timings in roundabouts. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 7, 217-223.

Yavuzylmaz, F. & Dünder, S. (2017). 15 Temmuz Şehitler Köprüsü gişe sahasının trafik akımına etkisinin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8:4, 703-714.

Araştırma Makalesi

Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının BMW ve SWARA yöntemleri ile belirlenmesi

Mesut Ulu^{1,*}, Yusuf Sait Türkan², Kenan Mengüç³

¹ Graduate Education Institute, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

² Engineering Faculty, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

³ Business Faculty, Istanbul Teknik University, Istanbul, Turkey

*Correspondence: mesut.ulu@yahoo.com

DOI: 10.51513/jitsa.1084833

Özet: Genç ve yetişkinler arasında önde gelen ölüm ve yaralanma nedeni olan trafik kazaları dünya çapında bir endişe kaynağı olmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2018 yılında yol güvenliğine ilişkin küresel durum raporuna göre, trafik kazaları nedeniyle her yıl yaklaşık 1,35 milyon kişi hayatını kaybetmekte ve 50 milyon kişi yaralanmaktadır. Karayolu trafik sistemi, insan, araç, yol ve doğal çevre gibi kapsamlı faktörleri içeren karmaşık bir sistemdir. Bu karmaşık sistem uygun iyileştirmeler olmadığı takdirde can kayıplarına, yaralanmalara, maddi hasara ve trafik sıkışıklığına neden olacaktır. Bu nedenle, trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Mevcut literatürde trafik kazalarını etkileyen ekonomi, iklim, yol yapısı, trafik bilgileri ve trafik güvenliği kanunları gibi çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada trafik kazalarına etki eden sürücü dışındaki kriterler ve bunların alt kriterleri belirlenmiştir. Ardından çok kriterli karar verme yöntemleri olan BMW ve SWARA metotları ile ayrı ayrı uygulanarak trafik kazalarına etki eden faktörlerin ağırlıkları hesaplanarak karayolu kazalarının azaltılması için öneri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: BMW, ÇKKV, SWARA, trafik kazaları, ulaşım

Determining the weights of the factors affecting traffic accidents by BMW and SWARA methods

Abstract: Traffic accidents, the leading cause of death and injury among youth and adults, have been a worldwide concern. According to the World Health Organization's (WHO) global status report on road safety in 2018, approximately 1.35 million people die and 50 million are injured every year due to traffic accidents. The road traffic system is a complex system that includes comprehensive factors such as people, vehicles, roads and the natural environment. This complex system will cause loss of life, injuries, property damage and traffic jams unless appropriate improvements are made. Therefore, in order to improve traffic safety, it is necessary to analyze the effective factors affecting traffic accidents. In the current literature, there are many factors affecting traffic accidents such as economy, climate, road structure, traffic information and traffic safety laws. In this study, the criteria other than the driver that affect traffic accidents and their sub-criteria were determined. Then, BMW and SWARA methods, which are multi-criteria decision-making methods, were applied separately and suggestions were presented to reduce road accidents by calculating the weights of the factors affecting traffic accidents.

Keywords: BMW, MCDM, SWARA, traffic accidents, transportation

* Corresponding author.

E-mail address: mesut.ulu@yahoo.com

ORCID: 000-0002-5591-8674¹, 0000-0001-7240-183X², 0000-0002-7536-2124³

Received 08.03.2022; accepted 17.08.2022

Peer review under responsibility of Bandirma Onyedi Eylül University.

1. Giriş

Karayolu trafik güvenliği, küresel kamuoyunu ilgilendiren bir sağlık ve güvenlik sorunudur. Karayolu kazaları, dünyanın birçok ülkesinde yaralanmaların ve ölümlerin önde gelen nedenlerinden biridir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, küresel olarak karayolu trafik kazaları yılda yaklaşık 1,35 milyon ölüme ve 518 milyar ABD dolarına mal olmaktadır (Zou vd., 2021). 50 milyon yaralanma ile dünya çapında karayolu kazalarından kaynaklanan ölümlerin sayısı kabul edilemez derecede yüksek olmaktadır. Karayolu trafik kazaları, 5-29 yaş arası çocuklarda ve genç yetişkinlerde önde gelen ölüm nedenidir (WHO, 2018). Türkiye'deki Trafik kaza istatistikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kaza İstatistikleri (URL1)

Yıllar	Toplam Kaza Sayısı	Ölümlü ve Yaralanmalı Kaza Sayısı	Maddi Hasarlı Kaza Sayısı	Ölü Sayısı		Yaralı Sayısı	
				Kaza Yerinde	Kaza Sonrası		
2010	1105201	116804	988397	4045	-	4045	211496
2011	1228928	131845	1097083	3835	-	3835	238074
2012	1296634	153552	1143082	3750	-	3750	268079
2013	1207354	161306	1046048	3685	-	3685	274829
2014	1199010	168512	1030498	3524	-	3524	285059
2015	1313359	183011	1130348	3831	3699	7530	304421
2016	1182491	185128	997363	3493	3807	7300	300812
2017	1202716	182669	1020047	3534	3893	7427	300383
2018	1229364	186532	1042832	3368	3307	6675	307071
2019	1168144	174896	993248	2524	2949	5473	283234
2020	983808	150275	833533	2197	2669	4866	226266

Trafik kazaları, 2030 yılına kadar yedinci ölüm nedeni olacağı tahmin edilerek, dünya çapında önde gelen ölüm nedenlerinden biridir. Günümüzde, bu ölümlerin büyük bir kısmı, trafik sıkışıklığı ve yüksek yoğunluktaki araç ve yayalarla ilişkili risk faktörlerinin bir arada bulunduğu kentsel ve metropol alanlarda meydana gelmektedir (Ramirez ve Valencia, 2021). Bu nedenle, etkili önleyici tedbirlerin oluşturulması, trafik güvenliğinden sorumlu kurumlar ve politika yapıcılar için bir önceliktir.

Trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Karayolu trafik sistemi, insan, araç, yol ve doğal çevre gibi kapsamlı faktörleri içeren karmaşık bir sistemdir. Karayolu kazalarında, genellikle altyapı (yol durumu), araç (aracın durumu) ve sürücü (insan durumu) ile ilişkili olarak gruplandırılan birden fazla faktör etkileşim halindedir (Pérez-Acebo vd., 2021).

Bu çalışmada trafik kazalarına etki eden faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemleri olan BWM ve SWARA metotları ile ağırlıkları belirlenecektir.

2. Literatür taraması

Trafik kazalarını etkileyen çok fazla unsur/kriter bulunması nedeniyle literatürdeki birçok çalışmada çok kriterli karar verme modellerinden yararlanıldığı görülmektedir (Bao vd., 2012; Fancello vd., 2015; de Almeida vd., 2017; Keymanesh vd., 2017). Trafik kazaları incelenirken, kaza ile ilgili unsurlar genellikle doğrudan unsurlar ve dolaylı unsurlar olmak üzere iki farklı grupta ortaya konulabilmektedir. Araç yoğunluğu, yol bilgisi vb. unsurlar doğrudan unsurlar olarak değerlendirilirken hava durumuna ait bilgiler gibi unsurlar ise dolaylı unsurlardır. Son yıllardaki çalışmaların önemli bir bölümü hem doğrudan hem de dolaylı unsurların birlikte incelendiği çalışmalardır (Chen vd., 2015; Fancello vd., 2015; Grdini'c-Rakonjac ve Pajkovi'c, 2020; Yang vd., 2021).

Mevcut literatürde trafik kazalarını etkileyen ekonomi, iklim, yol yapısı, trafik bilgileri, araç türleri, trafik güvenliği kanunları ve denetimler gibi çok sayıda faktör bulunmaktadır (Zou vd., 2021; Touahmia, 2018; Wang vd., 2013). Bu faktörler dışında araç paylaşım platformlarının kullanılması da yoğunluğu dolayısıyla trafik kazası riskini azaltır (Yaprak ve Ercan, 2021).

Bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) probleminde kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için adım adım ağırlık değerlendirme oran analizi (SWARA) (Hashemkhani Zolfani vd., 2018), analitik hiyerarşi süreci (AHP) (Ecer, 2020; Badi ve Abdulshahed, 2019), analitik ağ süreci (ANP) (Ömürbek ve Şimşek, 2014), karar verme yolu ve değerlendirme laboratuvarı (DEMATEL) (Bırgün ve Ulu, 2020; Ulu ve Şahin, 2021) Bulanık DEMATEL (Şahin vd., 2022) tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) (Pamuçar vd., 2018), kriterler arası korelasyon yoluyla kriterlerin önem tespiti (CRITIC) (Rostamzadeh vd., 2018) ve en iyi en kötü yöntem (BWM) (Demir ve Bircan, 2020) gibi bazı ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır.

BWM, kriter ağırlıklarını çıkarmak için ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Sadece 2n-3 yaparak ikili karşılaştırmalar sırasında karşılaşılan tutarsızlık sorununun üstesinden gelir. SWARA ise karar vericiye önceliklerini seçme şansı veren uzman odaklı bir yöntemdir.

Literatürde BWM ve SWARA yöntemleri çeşitli alanlarda sıklıkla uygulanmaktadır. Stevic vd., (2018) döner kavşak inşaatı yer seçimi için BWM ve WASPAS yöntemlerinden yararlanmışlardır. Moslem vd., (2020), yol güvenliğiyle ilgili sürücü davranışı faktörlerini değerlendirmek için BWM ve üçgen bulanık kümelere entegre bir yaklaşım uygulamışlardır. Farooq vd., (2021), yol güvenliğine ilişkin sık şerit değiştirmeyi etkileyen önemli faktörlerin değerlendirilmesinde AHP-BWM yöntemini kullanmışlardır. Vrtagic vd., (2021), yol bölümlerini sıralamak için bulanık SWARA yöntemini kullanmışlardır.

Geçtiğimiz beş yıl boyunca, BWM ve SWARA yöntemleri enerji, tedarik zinciri yönetimi, ulaşım, üretim, eğitim, yatırım, performans değerlendirme, havayolu endüstrisi, iletişim, sağlık, bankacılık, teknoloji gibi çok sayıda gerçek dünya probleminde halihazırda kullanılmıştır. Ayrıca sadece BWM ya da SWARA yönteminin kullanıldığı (tekli entegrasyon) çok sayıda çalışma ve bu yöntemin diğer yöntemlerle birlikte kullanıldığı (çoklu entegrasyon) makaleler bulunmaktadır.

3. Yöntem

3.1. Best worst method (BWM) yöntemi

BWM, 2015 yılında Rezaei tarafından önerilen bir ÇKKV yöntemidir (Rezaei, 2015). AHP'ye benzer şekilde BWM, ikili karşılaştırma fikrine yani iki kriter arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır. Ancak BWM, ikili karşılaştırma açısından AHP'den farklıdır. BWM sistematik bir karşılaştırmadır. BWM için öncelikle karar vericilerin yorumlarına göre en iyi kriter ve en kötü kriter belirlenecektir. İkinci olarak, en iyi kriter ve en kötü kritere ilişkin referans karşılaştırmaları yani en iyi kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar ve en kötü kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılacaktır. Üçüncüsü, iki kriter arasındaki ikili karşılaştırma değerinin (1-9 ölçeğinde) mümkün olduğunca bu iki kriter ağırlıklarının oranına eşit olması gerektiği felsefesinden hareketle, kısıtlı bir objektif optimizasyon problemi oluşturulacaktır. Son olarak, oluşturulan kısıtlı objektif optimizasyon problemi çözümlenerek kriterlerin ağırlıkları elde edilebilir (Van de Kaa vd., 2019; Demir ve Bircan, 2020). BWM'nin belirli adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Araştırma konusuna göre, öncelikle farklı alternatiflerin performanslarını yansıtabilecek makul bir karar verme kriter sistemi oluşturulmalıdır. Diyelim ki karar verme kriter sisteminde n tane kriter var ise $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ belirlenmektedir.

Adım 2: En iyi ve en kötü kriter belirlenir.

Adım 3: 1-9 ölçeğini kullanarak tüm kriterlere göre en iyi kriterin tercihi belirlenir. 1-9 ölçeği, en iyi kriterin diğer kriterlere göre önemini gösterir. En iyi kriter seçilen kriter kadar önemliyse, bu seçilen kritere göre en iyi kriterin tercihine 1 değeri verilir. En iyi kriter seçilen kritere göre kesinlikle önemliyse bu seçilen kritere göre 9 olarak atanmalıdır. En iyi kriterin diğer kriterlere göre üstünlük vektörü (A_B) Eşitlik 1'deki gibi oluşturulur.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

Adım 4: 1-9 ölçeği kullanarak tüm kriterlerin en kötü kritere göre tercihi belirlenir. İşlemler Adım 3'deki gibi yapılarak en kötü kriterin diğer kriterlere göre üstünlük vektörü (A_w) Eşitlik 2'deki gibi oluşturulur.

$$A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw}) \quad (2)$$

Adım 5: Kriterler için optimal ağırlıkların belirlenmesinde tüm j'ler için maksimum mutlak fark en aza indirilmelidir. Bu sebeple ilk başta $|w_B - a_{Bj}w_j|$ ve $|w_j - a_{jw}w_w|$ farklarının maksimumunu minimum yapan doğrusal programlama modeli oluşturulmalıdır. Doğrusal programlama modelini oluşturabilmek için problem ilk olarak 3, 4 ve 5. eşitliklerde gösterildiği gibi min-max modeli şeklinde oluşturulmalıdır.

$$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jw}w_w|\} \quad (3)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (4)$$

$$\text{Tüm } j\text{'ler için } w_j \geq 0 \quad (5)$$

Eşitlik (6-10)'da verildiği gibi elde edilen min-max modeli ise doğrusal programlama modeline dönüştürülmektedir.

$$\min \xi \quad (6)$$

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi, \text{ bütün } j\text{'ler için} \quad (7)$$

$$|w_j - a_{jw}w_w| \leq \xi, \text{ bütün } j\text{'ler için} \quad (8)$$

$$\sum_j w_j = 1 \quad (9)$$

$$\text{Tüm } j\text{'ler için } w_j \geq 0 \quad (10)$$

Optimal kriter ağırlıkları (w_1, w_2, \dots, w_n) ve tutarlılık oranını hesaplamak için kullanılan ξ değerine ulaşmak için Eşitlik (6-10)'daki doğrusal programlama modeli çözülmelidir.

Adım 6: Sonuçların güvenilir olup olmadığını ve karşılaştırmaların tutarlılığını kontrol etmek için hesaplanır. Tutarlılık indeksi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. BWM için Tutarlılık Endeks Değerleri

a_{BW}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TE	0,00	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \xi / \text{Tutarlılık Endeks Değeri} \quad (11)$$

Tutarlılık oranı bire yaklaştıkça tutarlılık azalmakta ve sıfıra yaklaştıkça tutarlılık artmaktadır.

3.2. Step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) yöntemi

SWARA (Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis) adım adım ağırlık değerlendirme oran analizi yöntemi, karar verme sürecinde önemli rol oynayan ağırlık değerlerini belirleme yöntemlerinden biridir. Yöntem Kersulienne ve arkadaşları tarafından 2010 yılında geliştirilmiştir (Kersulienne vd., 2010; Maruf ve Özdemir, 2021).

Yöntemin temel özelliği, kriterlerin ağırlıklarını belirleme sürecinde kriterlerin önemi hakkında uzmanların görüşlerini değerlendirme olasılığıdır. Karar verme sürecinde yer alan kriterler tanımlanarak bir listesi oluşturulur. Ardından SWARA yönteminin adımları aşağıdaki gibi oluşmaktadır (Radović ve Stević, 2018).

Adım 1: Kriterlerin önemlerine göre sıralanması gerekir. Bu adımda uzmanlar, tanımlı kriterleri sahip oldukları önem derecesine göre sıralarlar. Örneğin en önemli ilk sırada, en az önemli son sırada, aradaki kriterler ise önem derecesine göre sıralanır.

Adım 2: Bu adımda uzmanlar birinci sıradaki kriter haricinde kalan kriterlerin herbiri için göreceli önem değerleri belirlemektedir. Bu maksatla j kriteri bir önceki kriter olan j-1 ile karşılaştırılır. s_j (ortalama değer karşılaştırma oranı) değerine ulaşılır. s_j değerinin elde edilmesi ile j. kriterinin (j-1). kriterden

ne kadar önemli olduğu belirlenmektedir. Böylelikle art arda gelen kriterler karşılaştırılarak ağırlık değerleri hesaplanır. Tüm kriterlerin önem düzeyleri yüzdesel olarak belirlenir.

Adım 3: k_j katsayısı Eşitlik (12)'deki gibi hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_{j+1} & j > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Adım 4: Tekrardan hesaplanan q_j ağırlığı Eşitlik (13)'deki gibi belirlenir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ q_{j-1}/k_j & j > 1 \end{cases} \quad (13)$$

Adım 5: Toplamı bire eşit olan kriterlerin ağırlık değerleri hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^m q_j} \quad (14)$$

Eşitlik (14)'deki w_j , kriterlerin göreceli ağırlık değerini temsil eder.

4. Uygulama

Bu çalışmada metropol şehirlerde trafik kazalarına etki eden faktörlerin değerlendirilmesi için BWM ve SWARA metotları seçilmiştir. Bu iki ayrı metot kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

BWM yönteminin seçilmesinde işlem adımlarının basit bir algoritmaya dayanması ve güçlü bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olması önemli olmuştur. BWM yöntemi karar vericilerin en kötü ve en iyi kriterlerine göre nihai ağırlıkların değeri üzerinde öznel bir etkiye sahiptir. Kriter sayısı n olmak üzere $(2n-3)$ karşılaştırma yapılır. Bunun için 1-9 ikili karşılaştırma ölçeği kullanılır. Elde edilen ağırlık vektörünün güvenilirliği tutarlılık oranının hesaplanmasıyla yapılır.

SWARA yönteminin seçilmesinin sebebi ise kriterlerin ağırlığını hesaplamak için güçlü bir ÇKKV yöntemi olmasıdır. Bu ÇKKV yönteminin kullanılmasının nedeni, belirsizliği ele alma ve insan yargısının belirsizliğini simüle etme yeteneği olmasıdır. Bu yöntemde uzmanlar kriterleri ilk sıraya koyar, yani en önemli kriter birinci sırayı alırken, en az önemli olan kriter son sırayı alır. Daha sonra SWARA yönteminin prosedürüne göre kriterler tartılır ve önceliklendirilir.

Çalışmada kapsamlı bir literatür taraması, açık veri paylaşımı ve uzman görüşü alınarak trafik kazalarını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu kapsamda trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi için psikolojik faktör dışında fiziksel ve çevresel faktörler belirlenerek kazaya etki eden kriterler Tablo 3'de verilmiştir. Bu kriterler sırasıyla Zaman (M1), Konum (M2), Saatlik Trafik Bilgileri (M3), Günlük Trafik Bilgileri (M4), Hava Koşulları (M5), Yol Bilgileri (M6), Nüfus ve Araç Bilgileri (M7) olarak Tablo 3'de verilmiştir. Bu çalışmada trafik kazalarını etkileyen faktörlerin BWM ve SWARA yöntemleri ile ağırlıkları araştırılmış olup, ağırlıkları belirlemek için ulaştırma sektöründe uzman üç kişinin görüşüne başvurulmuştur.

4.1. BWM bulguları

Kriterler belirlenerek Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ana kriterler ve açıklamaları

No	Ana Kriterler	Açıklama (Alt Kriterler)
1	Zaman (M1)	Tarih
		Saat
		Gün
		Özel Gün
		Ay
2	Konum (M2)	Enlem ve Boylam
		Lokasyon
		İlçe
		Geohash
		Minimum Hız
3	Saatlik Trafik Bilgileri (M3)	Maksimum Hız
		Ortalama Hız
		Tekil Araç Sayısı
		Rotaya Bağlı Trafik Yüzdesi
		Minimum Trafik İndeksi
4	Günlük Trafik Bilgileri (M4)	Maksimum Trafik İndeksi
		Ortalama Trafik İndeksi
		Günlük Araç Sayısı
		Ortalama Hız
		Trafik Yüzdesi
5	Kaza Bilgileri (M5)	Kaza Durumu
		Kaza Tipi
		Kapalı Şerit Sayısı
		Kaza Şiddeti
		Olasılık
6	Hava Koşulları (M6)	Sıcaklık
		Nem
		Rüzgar ve Yönü
		Yağış Mikarı
		Yol Sıcaklığı
7	Yol Bilgileri (M7)	Hava Durumu
		Şerit Sayısı
		Kaplama Cinsi
8	Nüfus ve Araç Bilgileri (M8)	Yol Genişliği
		Toplama ve İlçelerin Nüfusu
		Toplam ve Bölgesel Araç Sayısı

Ardından uzman görüşü alınarak en kötü (en az önemli veya en az istenen) kriter ve en iyi (en önemli veya en çok istenen) kriter belirlenmiştir. Üç uzmanın en iyi ve en kötü kriterleri için verdiği karar aynı olup, Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. En iyi ve en kötü kriterler

En İyi Kriter	M3
En Kötü Kriter	M7

En iyi ve en kötü kriterin önceliğinin belirlenmesi için 1-9 aralığında ikili karşılaştırma ölçeği kullanarak Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. İkili Karşılaştırma

En İyi Kriteria Göre Diğer Kriterlerin Önceliklendirmesi	M3	En Kötü Kriteria Göre Diğer Kriterlerin Önceliklendirmesi		M7
		M3	M7	
M3	1	M3	9	
M5	2	M5	5	
M6	3	M6	4	
M1	3	M2	3	
M2	4	M1	3	
M4	5	M4	2	
M7	9	M7	1	

Kriterler için optimal ağırlıkları belirlemek ve bütün j'ler için maksimum mutlak farkı en aza indirilmelidir. Bu sebeple öncelik ile $|w_B - a_{Bj}w_j|$ ve $|w_j - a_{jw}w_w|$ farklarının maksimumunu minimum yapan doğrusal programlama modeli oluşturulmalıdır. Bu model Microsoft Excel Solver kullanılarak elde edilerek Şekil 1’de verilmiştir.

Criteria Number = 7	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Criterion 5	Criterion 6	Criterion 7
Names of Criteria	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
En iyi kriter	3						
En kötü kriter	7						
En iyi kriterlere göre	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
3	1	2	3	3	4	5	9
En kötü kriterlere göre diğer kriterlerin önceliklendirilmesi	7						
M3	9						
M5	5						
M6	4						
M2	3						
M1	3						
M4	2						
M7	1						
Weights	M3	M5	M6	M2	M1	M4	M7
	0,35437431	0,18826135	0,12550757	0,12550757	0,09413068	0,07530454	0,03691399
Ksi*	0,02214839						

Çözücü Parametreleri

Hedef Ayarla: SCS24

Hedef: En Büyük En Küçük Değeri: 0

Değişken Hücreleri Değiştirerek: SCS22:SIS22;SCS24

Kısıtlamalara Bağlıdır:

SCS22:SIS22 >= 0
SCS28 = 1
SCS30:SIS31 <= SCS24
SCS33:SIS34 <= SCS24

Kısıtlanmamış Değişkenleri Pozitif Yap

Cözme Yöntemi: Basit LP

Cözüm Yöntemi

Düzgün doğrusal olmayan Çözücü Problemleri için GRG Doğrusal Olmayan Altyapı
Doğrusal Çözücü Problemleri için Basit LP altyapısını seçin ve düzgün olmayan Çözücü Problemleri için Açılım altyapısını seçin.

Şekil 1. BWM Microsoft excel solver çözümü

Trafik kazalarını etkileyen kriterlerin tek uzman görüşüne göre kriter ağırlıkları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Kriter ağırlıkları

Kriter	Ağırlığı
M3	0,354
M5	0,188
M6	0,126
M1	0,126
M2	0,094
M4	0,075
M7	0,037

Diğer uzman görüşleri için yukarıdaki işlemler tekrar yapılır. Ardından her uzmanın bulduğu kriter ağırlıklarının ortalaması alınarak kriterlerin net ağırlıkları bulunur. Net kriter ağırlıkları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Net kriter ağırlıkları

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Net Ağırlık
M3	0,354	0,356	0,350	0,353
M5	0,188	0,199	0,200	0,196
M6	0,126	0,132	0,133	0,130
M2	0,126	0,099	0,100	0,108
M1	0,094	0,099	0,100	0,098
M4	0,075	0,079	0,080	0,078
M7	0,037	0,035	0,037	0,036

Trafik kazalarını etkileyen faktörlerin ağırlıklarının belirlenebilmesi için 7 kriter kullanılıp (2n-3)’den 11 karşılaştırma yapılarak doğrusal programlama kısıtları olarak her biri modelde yer almıştır. Tutarlık oranı, Eşitlik (11)’deki formül yardımıyla hesaplanarak 0,02 olarak bulunmuştur. Elde edilen değer $0,02 < 0,1$ olduğundan sonuçların güvenilir olduğu, aynı zamanda karşılaştırmaların da tutarlı olduğunu göstermektedir.

4.2. SWARA bulguları

Trafik kazalarına etki eden kriterler belirlenerek Tablo 3.’de verilmiştir. Bir uzman görüşü doğrultusunda kriterlerin önem sırası sırasıyla M3, M5, M6, M1, M2, M4, M7 olarak en iyiden en kötüye doğru sıralanmıştır. Ardından uzman görüşü alınarak kriterlerin karşılaştırmalı ağırlığı belirlenmiştir. Kriterlerin bu görel ağırlıklarının değeri (sj) belirlenerek sj değerleri, Tablo 8’de gösterilmiştir. Her kriterin katsayısı (kj) ise Eşitlik (12) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 8’de verilmiştir. Hesaplamalar için Microsoft Excel 2013 programı kullanılmıştır.

Tablo 8. Tek uzman görüşü için hesaplamalar

Kriterler	Önem Sırası	sj	kj
M3	1		1
M5	2	0,3	1,3
M6	3	0,4	1,4
M1	4	0,5	1,5
M2	5	0,25	1,25
M4	6	0,6	1,6
M7	7	0,75	1,75

Her kriterin toplam ağırlığı, Eşitlik (13) ve Eşitlik (14) ile bulunarak Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kriter ağırlıkları

Kriterler	qj	wj
M3	1	0,306
M5	0,769	0,236
M6	0,549	0,168
M1	0,366	0,112
M2	0,293	0,090
M4	0,183	0,056
M7	0,105	0,032

Çoklu uzman görüşünde ise yukarıda yapılan işlemler her uzman için yapılır. Ardından her uzmanın bulunduğu kriter ağırlıklarının ortalaması alınarak kriterlerin net ağırlıkları bulunur. Üç uzmanın kriter ağırlıkları ve net ağırlık Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Çoklu uzman görüşü ve net kriter ağırlıkları

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Net Ağırlık
M3	0,306	0,312	0,320	0,313
M5	0,236	0,250	0,246	0,244
M6	0,168	0,185	0,170	0,174
M2	0,112	0,116	0,113	0,114
M1	0,090	0,072	0,075	0,079
M4	0,056	0,042	0,047	0,048
M7	0,032	0,024	0,028	0,028

5. Sonuç ve öneriler

Karayolu trafik güvenliği, küresel kamuoyunu ilgilendiren bir sağlık ve güvenlik sorunudur. Bu kapsamda trafik kazalarını etkileyen unsurların farklı metotlarla incelenmesi ve yaklaşım farklılıklarının sonuç üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Çok kriterli karar modellerinde problem çözme yaklaşımları sıralama, seçme, derecelendirme gibi farklı amaçlara göre tasarlanabilmektedir. Bu kapsamda probleme uygun yöntemlerin tercih edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, trafik güvenliğini artırmak için trafik kazalarını etkileyen faktörlerin analiz edilmesi gerekmektedir. BWM ve SWARA yöntemleri kullanılarak trafik kazalarını etkileyen kriterlerin ağırlıkları bulunmuştur. Her iki yöntemde de kriter ağırlıklarına göre sıralamanın M3>M5>M6>M2>M1>M4>M7 şeklinde olduğu görülmektedir. Her iki yöntem de sıralamanın paralel çıkması sonuçların güvenilir olduğu yorumu yapılabilir. BWM yönteminde hesaplanan tutarlılık ise sonuçların güvenilir olduğu ve karşılaştırmanın tutarlı olduğunu göstermektedir.

Bu kapsamda her iki yöntemde de ağırlık olarak büyük öneme sahip üç kriter sırasıyla saatlik trafik bilgileri (minimum hız, maksimum hız, ortalama hız, tekil araç sayısı, rotaya bağlı trafik yüzdesi), hava koşulları (sıcaklık, nem, rüzgar ve yönü, yağış miktarı, yol sıcaklığı, hava durumu) ve yol bilgileri (şerit sayısı, kaplama cinsi, yol genişliği) olmuştur. Benzer ağırlıklar ile her iki yöntemde en önemsiz üç kriter ise nüfus ve araç bilgileri, günlük trafik bilgileri ve konum bilgileri olmuştur.

Bu kapsamda etkili önleyici tedbirlerin oluşturulması, trafik güvenliğinden sorumlu kurumlar ve politika yapıcılar için bir önceliklidir. Bu amaçla, trafik kazasını etkileyen kriter analizi sonucuna bağlı olarak, risk faktörünün belirlenmesi, zamana ve konuma dayalı kaza tahmini için yararlı olacaktır.

Saatlik trafik bilgileri ile trafik hacminin düşürülmesi trafik kazalarını önemli ölçüde azaltacaktır. Şiddetli yağmur ve kar gibi hava koşulları, yol yüzeyi ile lastikler arasındaki sürtünmeyi ve bu durumlarla beraber sisli hava da görüş mesafesini azaltarak kaza risklerini artırır. Düşük sıcaklıklar yollarda buz oluşumuna neden olduğu için trafik kazalarını artırmaktadır. Bu durumların önceden tahmini ve ilgili kuruluşların önlem faaliyetleri geliştirilmelidir.

Yol şartlarının iyileştirilmesi, önemli günlerde erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi kazaları azaltacaktır. Trafik güvenliği için denetimler sıklaştırılmalıdır. Caydırıcı politikalar geliştirilerek trafik kurallarına uyulması teşvik edilmelidir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu makale, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Kaynakça

Badi, I., & Abdulshahed, A. (2019). Ranking the Libyan airlines by using full consistency method (FUCOM) and analytical hierarchy process (AHP). *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1), 1-14.

Bao, Q., Ruan, D., Shen, Y., Hermans, E., Janssens, D., (2012). Improved hierarchical fuzzy TOPSIS for road safety performance evaluation. *Knowl.-Based Syst.* 32, 84–90.

Birgün, S., & Ulu, M. (2020). Site selection for a training centre focused on industry 4.0 by using DEMATEL and COPRAS. In *The International Symposium for Production Research* (pp. 37-50). Springer, Cham.

Chen, F., Wang, J., Deng, Y., (2015). Road safety risk evaluation by means of improved entropy TOPSIS–RSR. *Saf. Sci.* 79, 39–54.

de Almeida, A.T., Alencar, M.H., Garcez, T.V., Ferreira, R.J.P., (2017). A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. *IMA J. Manage. Math.* 28 (2), 153–184.

Demir, G., & Bircan, H. (2020). Kriter Ağırlıklandırma Yöntemlerinden Bwm Ve Fucom Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 170-185.

Ecer, F. (2020). Multi-criteria decision making for green supplier selection using interval type-2 fuzzy AHP: a case study of a home appliance manufacturer. *Operational Research*, 1-35.

Fancello, G., Carta, M., Fadda, P., (2015). A decision support system for road safety analysis. *Transp. Res. Procedia* 5, 201–210.

Farooq, D., Moslem, S., Jamal, A., Butt, F. M., Almarhabi, Y., Faisal Tufail, R., & Almoshaogeh, M. (2021). Assessment of Significant Factors Affecting Frequent Lane-Changing Related to Road Safety: An Integrated Approach of the AHP–BWM Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10628.

Grđinić-Rakonjac, M., Pajković, V., (2020). Evaluating the road safety of local municipalities with application of GRA: Montenegro case study. *Trans. Transport Sci.* 11 (3), 4–11.

Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22(22), 7399-7405.

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of business economics and management*, 11(2), 243-258.

Keymanesh, M., Ziari, H., Roudini, S., & Nasrollahatabar Ahangar, A. (2017). Identification and prioritization of “black spots” without using accident information. *Modelling and Simulation in Engineering*.

Maruf, M., & Özdemir, K. (2021). Türkiye’deki ticari bankalara ait web sitelerin performanslarının SWARA ve ARAS yöntemi ile sıralanması. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18(Yönetim ve Organizasyon Özel Sayısı), 1-1.

Moslem, S., Gul, M., Farooq, D., Celik, E., Ghorbanzadeh, O., & Blaschke, T. (2020). An integrated approach of best-worst method (bwm) and triangular fuzzy sets for evaluating driver behavior factors related to road safety. *Mathematics*, 8(3), 414.

Ömürbek, N., & Şimşek, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 12(22), 306-327.

Pamučar, D., Lukovac, V., Božanić, D., & Komazec, N. (2018). Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 108-129.

Pérez-Acebo, H., Ziolkowski, R., & Gonzalo-Orden, H. (2021). Evaluation of the Radar Speed Cameras and Panels Indicating the Vehicles’ Speed as Traffic Calming Measures (TCM) in Short Length Urban Areas Located along Rural Roads. *Energies*, 14(23), 8146.

Radović, D., & Stević, Ž. (2018). Evaluation and selection of KPI in transport using SWARA method. *Transport & Logistics: The International Journal*, 8(44), 60-68.

Ramírez, A. F., & Valencia, C. (2021). Spatiotemporal correlation study of traffic accidents with fatalities and injuries in Bogota (Colombia). *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105848.

Rezaei, J. (2015). “Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method”. *Omega*, 53, 49–57.

Rostamzadeh, R., Ghorabae, M. K., Govindan, K., Esmaeili, A., & Nobar, H. B. K. (2018). Evaluation of sustainable supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS-CRITIC approach. *Journal of Cleaner Production*, 175, 651-669.

Stević, Ž., Pamučar, D., Subotić, M., Antuchevičiene, J., & Zavadskas, E. K. (2018). The location selection for roundabout construction using Rough BWM-Rough WASPAS approach based on a new Rough Hamy aggregator. *Sustainability*, 10(8), 2817.

Şahin Y., Kulaklı A., & Birgün S., (2022). A Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach for Lean Supplier Selection, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey

Touahmia, M. (2018). Identification of risk factors influencing road traffic accidents. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8(1), 2417-2421.

Ulu, M., & Şahin, H. (2021). An integrated approach for fire extinguishers selection with DEMATEL and TODIM methods. *Business & Management Studies: An International Journal*, 9(4), 1696-1707.

URL1,

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2020.pdf> (Erişim tarihi: 18.12.2021)

Van de Kaa, G., Fens, T., & Rezaei, J. (2019). Residential grid storage technology battles: a multi-criteria analysis using BWM. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(1), 40-52.

Vrtagić, S., Softić, E., Subotić, M., Stević, Ž., Dorđević, M., & Ponjavic, M. (2021). Ranking road sections based on MCDM model: New improved fuzzy SWARA (IMF SWARA). *Axioms*, 10(2), 92.

Wang, C., Quddus, M. A., & Ison, S. G. (2013). The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. *Safety science*, 57, 264-275.

WHO (2018). Global Status Report on Road Safety 2018: Summary.

Yang, D., Xie, K., Ozbay, K., Yang, H., (2021). Fusing crash data and surrogate safety measures for safety assessment: development of a structural equation model with conditional autoregressive spatial effect and random parameters. *Accident Anal. Prevent.* 152, 105971.

Yaprak, B., & Ercan, S., (2021). Kapitalizmin Sözde Ölümü: Paylaşım Ekonomisine Eleştirel Bir Bakış. *Düşünce ve Toplum Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(5), 92-121.

Zou, Y., Zhang, Y., & Cheng, K. (2021). Exploring the impact of climate and extreme weather on fatal traffic accidents. *Sustainability*, 13(1), 390.