



EGE ÜNİVERSİTESİ

ULAŞTIRMA YÖNETİMİ ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

*Journal of Transportation
Management Research
(JOTMAR)*

2025

Cilt 2, Sayı 1



EGE ÜNİVERSİTESİ

ULAŞTIRMA YÖNETİMİ ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

Journal of Transportation Management Research
(JOTMAR)



E-ISSN: 3023-7912

CİLT 2

SAYI 1

NİSAN 2025

Dergimizin Tarandığı Dizinler



İletişim:

<https://jotmar.ege.edu.tr/>

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jotmar>

jotmar@mail.ege.edu.tr

Fatih, 1099. Sk. No:114, 35410 Gaziemir/İzmir

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Deniz MACİT (Ege Üniversitesi)

Alan Editörleri

Doç. Dr. Nihan YARMACI (Gedik Üniversitesi)

Doç. Dr. Volkan YAVAŞ (Ege Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Yeşim Deniz ÖZKAN ÖZEN (Yaşar Üniversitesi)

Dr. Alperen DOĞRU (Ege Üniversitesi)

Dr. Armağan MACİT (Ege Üniversitesi)

Yabancı Dil Editörü

Öğr. Gör. Özde ŞENOL (Ege Üniversitesi)

Sayı Hakemleri

Prof. Dr. Said KINGİR (Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi)

Doç. Dr. Mahmut BAKIR (Samsun Üniversitesi)

Doç. Dr. Volkan YAVAŞ (Ege Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi HAKAN AYGÜN (Fırat Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Levent KAYA (Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Dr. Öğretim Üyesi Nihan SİDAR (Alanya Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Seda Arslan (İskenderun Teknik Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi. Sultan GEDİK GÖÇER (Kocaeli Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi. Rıdvan ORUÇ (Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi)

Dr. Armağan MACİT (Ege Üniversitesi)

Dr. Esin KILIÇLI (Ege Üniversitesi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ALLI, Noah Gbenga

Operational Risk and its Influence on Passenger Satisfaction in Airport Services

1-29

Mehmet AYRANCI,
Mehmet KIRMIZI

Türkiye’de Bulunan Hava Kargo Firmalarının Filo Yapısı Ve Uçak Modellerine İlişkin Kapsamlı Bir Araştırma

30-49

Zeynep, İREN
Rüstem Barış, YEŞİLAY

Tarımda Drone Kullanımının Potansiyel Faydaları

50-64

Begüm Buse SERTGÖZ
Aydan SAVICI POLAT
Zafer DURAN

COVID-19 Sonrası Havacılık Sektöründe Toparlanma Süreci: Türkiye'deki Havacılık İşletmeleri Üzerine Bir Değerlendirme

65-85

Eda Nur ÇELİK

Yapay Zekâ Sistemlerinin Küresel Tedarik Zinciri Entegrasyonu ve Performansına Etkileri

86-99



EGE UNIVERSITY
Journal of Transportation Management
Research

Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi
<https://jotmar.ege.edu.tr/>

Geliş/Received: 10.12.2024 Kabul/Accepted: 17.03.2025
Research Article

Operational Risk and its Influence on Passenger Satisfaction in Airport Services

ALLI, Noah Gbenga*

Abstract

This study investigates the influence of operational risks on passenger satisfaction using Muritala Muhammed International Airport (MMIA), Lagos, Nigeria, using structural equation modeling (SEM). Key operational risks examined include security delays, baggage issues, facility problems, staff shortages, and operational delays. Data were collected from 384 passengers through a structured questionnaire, yielding high reliability (Cronbach's alpha > 0.7) and validity (AVE > 0.5, CR > 0.7). Results reveal a significant negative relationship between operational risks and passenger satisfaction ($\beta = -0.731$, $t = -17.40$, $p < 0.001$), with operational risks explaining 53.4% of the variance in satisfaction ($R^2 = 0.534$). Security delays ($r = -0.64$, $p < 0.01$) and operational delays ($r = -0.66$, $p < 0.01$) were identified as the most impactful dimensions, significantly reducing satisfaction, willingness to return, and recommendation likelihood. The model demonstrated robust fit indices (CFI = 0.957, RMSEA = 0.048, SRMR = 0.039), affirming its explanatory power. These findings highlight the need for enhanced operational risk management strategies, including advanced technologies, infrastructure upgrades, and stakeholder collaboration, to mitigate disruptions and enhance passenger experiences. This research underscores the critical role of operational efficiency in sustaining passenger satisfaction and competitiveness in the aviation industry, offering actionable insights for airport operators and policymakers globally.

Keywords: Operational Risks, Passenger Satisfaction, Airport Services, Security Delays, Baggage Issues.

Havaalanı Hizmetlerinde Operasyonel Risk ve Yolcu Memnuniyetine Etkisi

Özet

Bu çalışma, yapısal eşitlik modellemesi (SEM) kullanarak, Nijerya, Lagos'taki Muritala Muhammed Uluslararası Havalimanı'nda (MMIA) operasyonel risklerin yolcu memnuniyeti üzerindeki etkisini araştırmaktadır. İncelenen temel operasyonel riskler arasında güvenlik gecikmeleri, bagaj sorunları, tesis sorunları, personel eksikliği ve operasyonel gecikmeler yer almaktadır. Veriler, yapılandırılmış bir anket

* Department of insurance, School of Business and Management Studies, Federal Polytechnic, Offa, Kwara, Nigeria, noah.alli@fedpoffaonline.edu.ng, ORCID: 0000-0002-8311-9634.

aracılığıyla 384 yolcudan toplanarak yüksek güvenilirlik (Cronbach'ın alfa > 0,7) ve geçerlilik (AVE > 0,5, CR > 0,7) elde edilmiştir. Sonuçlar, operasyonel riskler ve yolcu memnuniyeti arasında önemli bir negatif ilişki olduğunu ortaya koymaktadır ($\beta = -0,731$, $t = -17,40$, $p < 0,001$), operasyonel riskler memnuniyetteki varyansın %53,4'ünü açıklamaktadır ($R^2 = 0,534$). Güvenlik gecikmeleri ($r = -0,64$, $p < 0,01$) ve operasyonel gecikmeler ($r = -0,66$, $p < 0,01$) en etkili boyutlar olarak belirlenmiştir. Bu iki faktörün yolcu memnuniyeti, geri dönme isteği ve tavsiye olasılığını önemli ölçüde azalttığı ortaya konmuştur. Model, açıklayıcı gücünü teyit eden sağlam uyum endeksleri (CFI = 0,957, RMSEA = 0,048, SRMR = 0,039) göstermiştir. Bu bulgular, kesintileri azaltmak ve yolcu deneyimlerini geliştirmek için gelişmiş teknolojiler, altyapı yükseltmeleri ve paydaş iş birliği dâhil olmak üzere geliştirilmiş operasyonel risk yönetimi stratejilerine olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu araştırma, havacılık sektöründe yolcu memnuniyetini ve rekabet gücünü sürdürmede operasyonel verimliliğin kritik rolünü vurgulayarak, küresel çapta havalimanı operatörleri ve politika yapıcılar için eyleme geçirilebilir içgörüler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Operasyonel Riskler, Yolcu Memnuniyeti, Havalimanı Hizmetleri, Güvenlik Gecikmeleri, Bagaj Sorunları, Tesis Sorunları, Personel Eksikliği, Operasyonel Gecikmeler.

1. INTRODUCTION

Passenger satisfaction can be impacted by the service delivery disruption potential that lies in operational risk. With regards to what constitutes operational risk, (International Civil Aviation Organization's [ICAO], 2020) explained that service delivery disruptions occur when all of or any part of the processes, systems, or human factors that underpin airport services itself are inadequate or fail altogether. The stakeholders at an airport include a multitude of people including airlines, ground handlers, security personnel, and regulatory authorities, who operates in an efficient manner to provide the traveling public a seamless experience. Yet the complexity of these operations makes the airport a likely location for operational failures. These tend to occur along critical areas such as baggage handling, delay in security screening, improper management of passenger flow, and technical failures in the infrastructures of airports, which are obvious points of potential failure (De Neufville, 2020). These risks, if not managed properly, leads to bad experience for passengers.

Following the disruption caused by the COVID-19 pandemic, the global aviation industry has rebounded rapidly and showing robust growth. But air travel recovery and profitability have placed intense and immediate pressure on airport operators to perform, which means sifting through layers of operational details such as airport operations efficiency, cleanliness, comfort as well as service personnel behavior, that together leads to passenger satisfaction, which is the key service quality metric for any airport (Wittman & Belobaba, 2015). According to ACI's Airport Service Quality (ASQ) surveys, productivity in airports must include the passenger experiences such as timely check-ins, efficient security screening, access to airport amenities when needed, as well as the operational effectiveness, quality, and even cleanliness of the passenger space and experience (Ćurčić & Grubor, 2023). When not adequately managed well, operational risks can undermine the priorities of the airport. For instance, ensuring the

timely delivery of baggage and the smooth boarding of passengers is a critical part of the operations of an airport (Bogicevic et al., 2013). When these tasks are delayed, they not only frustrate passengers but also erode their trust in the services offered by the airport. Conversely, proactive management of operational risk, done well, can actually enhance passenger satisfaction because it ensures that the experience of traveling through an airport is not interrupted in any significant way.

The significance of managing operational risk in bolstering service quality has been underscored in numerous empirical studies. For instance, in Lubbe et al (2017), the study found that airports that implement risk strategies (including current technology and trainer-assisted human resources) satisfactorily resolve normal-operation service issues that arise while also making the airports more resilient when larger crises occur. Despite the growing body of literature on operational risk in airports, limited research focuses specifically on the interplay between operational risk and passenger satisfaction. Most studies address these aspects in isolation, leaving a gap in understanding how operational risks directly influence passenger perceptions and experiences. Given the critical role of passenger satisfaction in the sustainability of airport operations, this study aims to bridge this gap by exploring the extent to which operational risks influence passenger satisfaction in airport services by identifying the key operational risks and their impacts on passenger experiences in Nigeria.

2. LITERATURE REVIEW AND CONCEPTUAL FRAMEWORK

2.1. Operational Risk in Airports

Global economic progress relies heavily on the aviation industry. It has a huge role in enabling international business, tourism, and connectivity. Airports are key components of the aviation system (Rong, Luo, & Chen, 2016). They are complex in both design and operation and therefore have an array of vulnerabilities. operational risk in airports includes any form of challenges related to the management of airport systems, its processes, and human interactions to ensure smooth and efficient flow of cargoes, passengers and other related airport services (Hošková-Mayerová et al., 2018).

The smooth functioning of airport operations is threatened when systems, processes, or human factors fail. According to (Basel, 2004), Basel II defines operational risk as "the risk of loss resulting from inadequate or failed internal processes, people, systems, or external events." This definition has been widely adopted in the airport sector due to its suitability in characterizing not only internal but also external vulnerabilities. The risk that operational failures pose to aviation safety and service delivery has received considerable attention. For example, Paradisi (2023) points out that to have a truly robust risk management framework in place to identify, assess, and mitigate operational risks at aviation hubs is key. A key feature of these frameworks is

that they are more or less mandated by international authorities to be grounded in certain recognized standards such as ISO 31000 and ICAO's Safety Management System (SMS) guidelines.

Airports are highly regulated, dynamic environments. They maintain the delicate balance of financial efficiency while also providing a satisfactory experience for the millions of people using the airport services. A poor experience can lead to justifiably bad public relations for an airport; it's easy for passengers to see how an airport is falling short when they have to wait, and they're not quite sure why. This is a key reason why managing operational risk is important for an airport and also performs operational risk management in a collaborative, stakeholder-inclusive manner.

2.2. Security Delays as Operational Risk in an Airport

Global economic prosperity and the interconnectedness of people and businesses depend vitally on effective airports (Janić, 2022). Airports are huge, intricate systems requiring a complex array of stakeholders to cooperate, in order to offer respective services. Satisfactory performance at the airport is a prerequisite for satisfactory performance in aviation as a whole. Because the problems associated with airport inefficiency and ineffectiveness have not been resolved, they sometimes impair the airport's gateway role and thus its contribution to international economic vitality (Supervision, 2011). The keystone operational risk at major airports today is security delays that, in turn, arise from process inefficiencies in checkpoint operations. Long waits at the security checkpoints are closely related to passenger dissatisfaction, which can adversely affect airport revenue (Oum et al., 2008). In bad weather or other conditions where delays may occur, airports operate under challenge whenever they fail to deliver on promises to passengers regarding the speed and surety with which airport security will actually perform (Harris & Jamieson, 2019; Neufville & Odoni, 2013).

Bottlenecks in security can usually be traced to several internal and external causes. On the internal side, a combination of insufficient personnel and too many old systems tends to slow things down even in the best of times (Bezerra & Gomes, 2016; Alsharari, 2024). On the external side, heightened security protocols as a response to geopolitical tensions can further exacerbate the delays (TSA, 2021). The effects of security delays are many and varied. From an operational standpoint, they are a disruptive force that affects airport schedules, which in turn affects the airlines that use those airports. This disruption to airlines and airports has an economic effect when the airport schedule is not on time, then the revenues that the airport earns, are also affected. Passenger dissatisfaction, as measured by the Airport Service Quality (ASQ) index, is also correlated with the amount of time that passengers have to wait. And, as

we've seen, security wait time is a major factor (Al-Saad et al., 2019; Bezerra & Gomes, 2015; Dini, 2023)

2.3. Baggage Issues as Operational Risk in an Airport

Mishandling of baggage, including its loss, misrouting, or damage, is one of the most expansive operational risks that airports face, and the problem is pervasive. Although several studies have attempted to identify the core parts of the airport that contribute to this risk, the direct cause of underperforming baggage systems remains unclear. SITA, a company that specializes in IT solutions for the air transport industry, conducted a study in 2022, which stated that poorer baggage performance tends to cluster in certain key areas, and interestingly, SITA claims that baggage mishandling costs the global aviation industry approximately \$2.1 billion annually (SITA, 2022).

Baggage problems are an operational risk that stems from several sources. The first is simply human error, which remains the most common cause of baggage issues (Anand & Rajaram, 2016). Human error can usually be traced back to inadequate training, personal fatigue, or a deviation from what is supposed to be a well-practiced standard operating procedure. But baggage problems also come from system inefficiencies. Airport management and the airlines also create problems for themselves and their passengers when they fail to coordinate effectively (Kleshko et al., 2024). Inefficiency and baggage/passenger volume can also bring about baggage issues during the transfer of baggage between connecting flights or even during security checks (Morris et al., 2018; FAA, 2022).

Baggage-related operational risks are addressed in the guidelines of international organizations like IATA and the International Civil Aviation Organization (ICAO). IATA's Resolution 753 is a prime example. It mandates end-to-end baggage tracking, which has greatly improved transparency and accountability (IATA, 2024; Blancaflor et. al., 2024). As authorities push for compliance with such standards, they're not only asking airlines to do better but also to make collective experience of customers more enjoyable (ICAO, 2021).

2.4. Facility Problems as Operational Risk in an Airport

Facility problems in airports typically involve failures or inefficiencies in physical infrastructure, utilities, and systems that support operations. Common issues include inadequate maintenance of runways, taxiways, terminals, and baggage handling systems; disruptions in power supply; and suboptimal HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) systems (Lahna et al., 2023). These problems can lead to flight delays, increased operational costs, and safety risks for passengers and staff. The significance of facility issues as an operational risk has grown with the increasing complexity of airport operations. Modern airports rely on interconnected systems, including advanced air navigation, automated baggage handling, and digital passenger services (Sallahaj,

2024; Amiri & Kusakri, 2024). Any disruption in these facilities can have cascading effects, highlighting the importance of risk management strategies (Ferreira, Baltazar & Santos,, 2024). Operational efficiency and passenger's satisfaction are directly affected by facility issues. For instance, If the runways of an airports are not kept in prime condition, the risk of accidents increases (Lu, Tang, Sun, Xie, Chen, & Wei, 2024; Chen & Sun, 2024). Runway, taxiway, and baggage handling facility design and upkeep, are not the same thing as the facilities themselves. Facilities can be and have been designed to be inadequate (Chen & Sun, 2024).

2.5. Staff Shortages as Operational Risk in an Airport

The staffing shortfall in airports is a complex issue that stems from a variety of internal and external factors. Poor workforce planning and high employee turnover are the usual internal contributors (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2018). On the external side, a number of different macroeconomic forces have been at work over the past several years, including downturns in the economy, political instability, and the pandemic. The aftermath of the pandemic has been particularly bad (Leppäjärvi, 2024). Operational risks resulting from staff shortages at airports can endanger both efficiency and safety. Inadequate personnel can lead to delays in essential passenger processing, such as check-in and security screening, as well as in the behind-the-scenes work necessary to keep the airport functioning (Hoffman, 2002). If current trends continue, passenger dissatisfaction is likely to worsen, and with it the portents of financial losses for both airports and airlines. Airport security is a 24/7 job that demands intense focus and attention to detail, not only because of the fundamental need to keep passengers and airport personnel safe, but also because airport security is the first line of defense for the national airspace system (ICAO, 2018). The economic fallout could be substantial. Research indicates that operational inefficiencies stemming from staffing shortages can hit the supply chain, mainly because airports are a key link in the chain that facilitates trade. Doing a poor job can affect the reputation of an airport operator, a risk that may not be fully recognized if comparisons are only made to the airport staffing problems of other countries (Dimitriou, 2018; Hoffman, 2002).

2.6. Operational Delays as Operational Risk in an Airport

In the aviation industry, operational risk is a major area of concern. Inadequate or poorly functioning internal processes, systems, or people, and events external to the organization can lead to significant delays that impact the efficiency and reliability of airport operations. These disruptions can take many forms; they are most pronounced in the inevitable interruptions, which tend to occur at the end of the arrival descent phase and during the takeoff sequence (Basel, 2004). These are just the two principal

points of interruption within the human experience of air travel. The myriad of airport operational delays has internal and external causes. Internally, resource management is a big part of the delays. That means all of the passengers and all of the equipment must be in the right places at the right times for flights to depart and to arrive successfully (Guimarães, 2024). This is hard to do, when poor resource management happens, it contributes to the delays. Studies point to some very specific infrastructure problems that seem to cause delays. For instance, in a Neubauer et al. (2024) study, the authors point to inadequate baggage handling systems and understaffed security checkpoints as slow pathways that compel a flight to bide its time before boarding and before departing.

One of the main causes of operational delays is the dependence on outdated or incompatible technological systems. Halpern and Graham (2021) say that airports with old systems face problems when trying to put together real-time data. When an airport can't pull real-time data together, then it can't pull together necessary resources including passengers and aircrafts that need to be at the airport for things to run smoothly. And when external shocks, like a global pandemic or a geopolitical crisis, is added to the equation, then the operational vulnerability is further amplified (IATA, 2021). The consequences of operational delays extend and affect differently. When passengers' flights are delayed, they miss not only their next flight but also the chances their next flight might have had to connect them to the rest of the world (Wimmer, 2024). Delays also harm airlines, but from an airport's point of view, delays harm passengers' even worse than what they do to airlines. Operational delays impose substantial economic burdens. The European Commission (2020) estimated that the aviation sector loses billions of euros each year because of disrupted schedules and diminished productivity. Delays that last a long time can set off a chain of problems that ineffectively ripple through the air transport network, creating inefficiencies at various interconnected airports (Zou & Hansen, 2012).

2.7. Passenger Satisfaction in Airports

Passenger satisfaction in airports is a critical metric for evaluating the quality of services provided by airport operators and stakeholders. It serves as a benchmark for operational efficiency, competitiveness, and customer loyalty in the aviation sector. Passenger satisfaction refers to the extent to which an airport meets or exceeds the expectations of its users, encompassing various touch points from arrival to departure (Fodness & Murray, 2007). It is a subjective evaluation shaped by individual perceptions, preferences, and prior experiences. High levels of satisfaction are linked to customer retention, positive word-of-mouth, and enhanced airport revenue streams (Bakır et al., 2022). Conversely, dissatisfaction can lead to negative reviews, reduced patronage, and

diminished competitiveness (Bogicevic et al., 2013). Numerous factors contribute to passenger satisfaction, broadly categorized into Satisfaction, Service Quality, Willingness to Return and Recommend Likelihood:

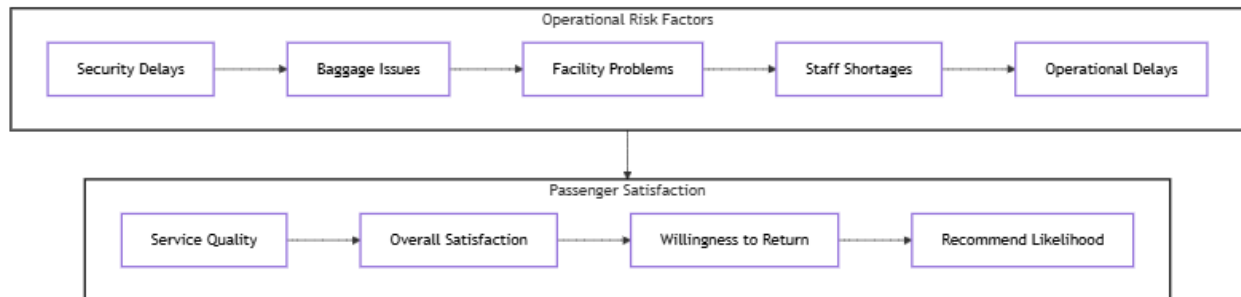
Service quality is perhaps the most crucial driver of the customer satisfaction experienced by travelers at airports. Although there have been various models proposed over the years for assessing service quality in different industries, one of the most widely used in recent times, especially for assessing service quality in the airport context, has been the SERVQUAL model that was introduced in the late 1980s. Parasuraman, Zeithaml, and Berry (1988) introduced the SERVQUAL model, emphasizing dimensions such as tangibility, reliability, responsiveness, assurance, and empathy.

Passenger satisfaction is a potent, holistic measure of an airport's performance. It can be affected by many service attributes, including security, check-in, baggage handling, and accessibility. It is also influenced by external factors such as weather and flight punctuality (Li et al., 2016). In Ween et al. (n.d.) survey across multiple international airports and found that 70% of the variance in passenger satisfaction could be accounted for by service quality attributes. While this suggests that individual service aspects are critical to passengers' assessments of their airport experience, it also implies that passengers base their assessments on a more global mindset, considering their journey in its entirety.

Willingness to return is an indicator of strong passenger loyalty, which means the likelihood that a passenger will return and the prospect that a passenger will choose the same airport for future travel. Ringle, Sarstedt, and Straub (2012) say that the willingness to return is directly linked to the core service satisfactions of the passenger experience, namely, the check-in process, the quality of the boarding experience, and the pass through security. Bock et al., (2019) asserted that if a passenger is happy enough with the essential services that bridge the entry and exit points of the customer journey, they are much more likely to consider flying in or out of an airport again.

An airport's ability to gain new travelers and earn a good reputation is intricately linked to passengers' willingness to recommend the airport to friends and family. Fodness and Murray (2007) study highlight the relevance of unforgettable experiences in determining this behavior. The study found that the things airports do that are really unique, position them above others in their passengers' minds. Bakır et al. (2022), via an analysis of TripAdvisor reviews, found a strong relationship between the quality of passengers' experiences and the likelihood of their recommending an airport. This suggests that airports need to be on 'their game' if they want to get the sorts of recommendations that travel largely via social media to generate.

The complex nature of passenger satisfaction is underscored by the interrelationship among passenger's satisfaction, service quality, and recommendation likelihood. Hernandez et al. (2023) relate that service quality has a direct effect on satisfaction, which in turn governs both the will to return and tendency to recommend.



Source: Author's Concept, 2024.

In the study titled *How to achieve passenger satisfaction in the airport?* Findings from regression analysis and necessary condition analysis approaches through online airport reviews by Bakır, Akan, Özdemir, Nguyen, Tsai, and Pham (2022), the researchers explore the relationship between airport service attributes and passenger satisfaction, emphasizing the critical role of service quality in ensuring an airport's competitiveness and long-term growth. The study employs a multi-method approach, combining symmetric (multiple regression analysis) and asymmetric (necessary condition analysis) techniques to analyze data from 1,463 valid online reviews of the top 50 busiest airports in Europe retrieved from Skytrax. Using MRA, the study identifies the net effects of eight airport service attributes on passenger satisfaction, revealing that airport staff is the most influential predictor, while attributes such as airport shopping and Wi-Fi connectivity do not significantly impact satisfaction. Additionally, the NCA results indicate that six of the eight service attributes are necessary conditions for achieving passenger satisfaction.

Also, in the study titled *airport service quality and passenger satisfaction: the impact of service failure on the likelihood of promoting an airport online* by Halpern and Mwesummo (2021), the researchers examine how service failures influence passengers' likelihood of promoting an airport online, based on an analysis of 2,278 online passenger ratings of airports worldwide. Using a standard multinomial logit model, the study assesses the impact of service attribute failures while controlling for various passenger and airport characteristics. The findings reveal that failures related to airport staff and queueing times are most likely to reduce the probability of a passenger promoting an airport, whereas failures associated with airport shopping and Wi-Fi service have the

least impact. Importantly, the study highlights that any service failure significantly decreases the likelihood of a passenger becoming a promoter, indicating that all components of the airport value chain are interconnected and vulnerable to the negative effects of service disruptions. Additionally, the study finds that passenger and airport characteristics included in the analysis do not significantly explain variations in passengers' likelihood of promoting an airport.

Furthermore, in the study titled the role of innovation and airport service quality on airport image: mediated effect of passenger satisfaction by Usman, Azis, Harsanto, and Azis (2023), the researchers explore how innovation and service quality influence airport image, with passenger satisfaction acting as a mediating factor. The study positions airports as representations of a country's image, emphasizing the importance of innovation in service infrastructure and digitalization to enhance passenger-oriented management. Data were collected through surveys conducted at five major airports in Indonesia, targeting passengers in departure areas. The analysis employed the partial least square structural equation model (SEM-PLS) to examine the relationships between variables. The findings demonstrate that innovation significantly impacts airport service quality, passenger satisfaction, and airport image. Similarly, service quality was found to influence both passenger satisfaction and airport image. Notably, passenger satisfaction successfully mediated the effects of innovation and service quality on airport image.

3. METHODOLOGY

Using a quantitative research design, this research investigates how operational risks impact the satisfaction of passengers traveling through one of Nigeria's busiest airports, Murtala Muhammed International Airport (MMIA) in Nigeria. The study addresses the following research questions:

Research Question:

- i. What is the relationship between operational risks and passenger satisfaction in airport services?

Sub-Questions:

- ii. How do security delays influence operational risk in transportation services?
- iii. What is the impact of baggage issues on passenger satisfaction?
- iv. To what extent do facility problems contribute to passenger dissatisfaction?
- v. How does staff shortage affect overall service quality?
- vi. What role do operational delays play in determining passenger satisfaction?

To answer the above research questions, the study utilizes a structural equation model (SEM) to discern the relationships between the independent variable which is operational risk and the dependent variable, which is passenger satisfaction. To make

the findings of the study to be robust, the study adapted previously used scales to replace the constructs. The operationalization of the scales allows more concrete measures of both operational risks and passenger. A total sample size of 384 passengers was determined using Cochran's formula, ensuring sufficient statistical power for SEM analysis:

$$\begin{aligned}
 Z &= 1.96 \\
 p &= 0.5 \\
 e &= 0.05 \\
 n_0 &= \frac{(1.96^2) \times 0.5 \times (1 - 0.5)}{(0.05)^2} \\
 n_0 &= \frac{3.8416 \times 0.25}{0.0025} \\
 n_0 &= \frac{0.9604}{0.0025} \\
 n_0 &= 384.16
 \end{aligned}$$

The sampling strategy adopted was purposive in nature, concentrating on those passengers most likely to encounter a range of operational risks. Data were collected using a structured questionnaire with two parts. One part captured demographic details, including age, gender, and travel behavior; the other part concentrated on study variables and sought to understand the nature of the operational risks being faced and their relationship to overall passenger satisfaction. The study variables themselves were standardized. This was necessary both to maintain the reliability and validity of the constructs being used and also to allow for some comparability with other operational risk constructs found in the literature. The operational risk constructs included the following: Security Delays; Baggage Issues; Facility Problems; Staff Shortages; and Operational Delays. Constructs measuring passenger satisfaction were similarly derived from well-established scales. For overall satisfaction, the study adapted from Wittman and Belobaba (2015), while for service quality, the study used the SERVQUAL dimensions proposed by Parasuraman et al. (1988). "Willingness to return" and "likelihood to recommend" were assessed using items adapted from Lubbe et al. (2017) and Tsai et al. (2011), respectively. All items were measured using a 5-point Likert scale. A small pilot study was conducted to test both the reliability of our measures and the clarity of our questionnaire. The pilot study involved 50 passengers who had recently used the airport, dividing them equally between local and international travelers. The pilot study was not intended to have any sort of statistical validity, but rather, for the clarity of measures and the internal consistency of the scales adapted.

The analytical techniques used for this study consisted of both descriptive and inferential statistics. Descriptive statistics including means, standard deviations, skewness, and kurtosis were used to summarize the data and reveal its distribution. The authors of this dissertation utilized CFA to confirm the measurement model. For assessing the variance and how well the identified variables represent the constructs, they looked at CR and AVE values. The constructs used in this study were reliable and valid, with the authors confirming the model fit. The direct effect of operational risks on passenger satisfaction was then assessed using SEM. Finally, the study judged the overall model fit using several indices.

Moreover, the study compared the model's invariance across two groups - local travelers and international travelers - as well as across two time periods - peak and off-peak periods. This was done to better understand how group demographics and operational dynamics might influence the relationships observed between different sets of variables.

3.1. Results and Discussions

The demographic profile of respondents reveals insightful trends regarding passenger characteristics at Murtala Muhammed International Airport (MMIA), Lagos. A majority of the respondents were male (54.7%), while females accounted for 44.3%, with a small fraction (1.0%) preferring not to disclose their gender. This suggests that air travel at MMIA is slightly more male-dominated, potentially reflecting travel patterns in business and international mobility. In terms of age distribution, the 26-35 age group (36.5%) represented the largest segment of passengers, followed by those aged 36-45 (23.4%) and 18-25 (20.8%). A smaller proportion of respondents were in the 46-55 (13.0%) and 56+ (6.3%) categories, indicating that the airport primarily serves younger and middle-aged travelers. This is consistent with the demographics of business and leisure travelers, who are often within their peak career and mobility years. Regarding travel purpose, a significant proportion of passengers were traveling for leisure (46.9%), followed by business travelers (36.5%). This suggests that MMIA serves a strong mix of corporate and personal travel needs. Transit passengers (10.4%) and those traveling for other unspecified reasons (6.3%) formed a smaller percentage of respondents, indicating that MMIA functions primarily as an origin and destination airport rather than a major transit hub. A large majority of respondents were domestic travelers (65.1%), while 34.9% were on international flights. This emphasizes MMIA's crucial role in Nigeria's domestic air transport network, although it also accommodates a significant proportion of international passengers. The trip frequency data further reinforces this trend, with 33.9% of respondents traveling occasionally (3-5 times per year) and 31.3% traveling rarely (1-2 times per year). Frequent travelers (6+ times per year) made up

19.3%, while 15.6% were first-time travelers. This suggests that a mix of both routine and infrequent flyers pass through MMIA, highlighting the need for consistent service quality to cater to diverse passenger experiences. In terms of travel class, 72.9% of respondents flew in economy class, reinforcing the dominance of cost-conscious travelers. Business class passengers (22.1%) made up a notable proportion, while first-class travelers (5.0%) represented a small luxury segment. This highlights MMIA's broad accessibility while indicating the presence of high-value passengers who demand premium services. Similarly, when considering companions, 52.1% of passengers traveled alone, while 28.6% were accompanied by family. Friends (11.5%) and colleagues (7.8%) accounted for smaller percentages, suggesting that solo and family travel are dominant patterns at the airport. The check-in method data shows a growing preference for self-service, with 46.9% of passengers using online or mobile check-in and 28.6% opting for airport kiosks. Only 24.5% checked in at airline counters, indicating a shift toward digital convenience. Additionally, most respondents (75.5%) checked in baggage, while 24.5% traveled with carry-on luggage only, underscoring the importance of efficient baggage handling systems at MMIA.

Demographic Profile of Respondents (n = 384)

Category	Options	Frequency (n)	Percentage (%)
Gender	Male	210	54.7%
	Female	170	44.3%
	Prefer not to say	4	1.0%
Age Group	18-25	80	20.8%
	26-35	140	36.5%
	36-45	90	23.4%
	46-55	50	13.0%
	56+	24	6.3%
Travel Purpose	Business	140	36.5%
	Leisure	180	46.9%
	Transit	40	10.4%
	Other	24	6.3%
Flight Type	Domestic	250	65.1%
	International	134	34.9%
Trip Frequency	First time	60	15.6%
	Rarely (1-2 times/year)	120	31.3%
	Occasionally (3-5 times/year)	130	33.9%
	Frequently (6+ times/year)	74	19.3%
Travel Class	Economy	280	72.9%
	Business	85	22.1%
	First Class	19	5.0%
Companion Type	Alone	200	52.1%
	With Family	110	28.6%
	With Friends	44	11.5%
	With Colleagues	30	7.8%

Check-in Method	Online/Mobile	180	46.9%
	Airport Kiosk	110	28.6%
	Airline Counter	94	24.5%
Baggage Status	Yes	290	75.5%
	No	94	24.5%

Author's Field Work (2024)

3.1.1. Operational Risk and Passenger Satisfaction in Airport Services

Table 1: Descriptive Statistics and Correlation Matrix

Panel A: Descriptive Statistics

Variable	Mean	SD	Min	Max	Skewness	Kurtosis
Security Delays	3.48	0.79	1.52	5.00	-0.12	-0.34
Baggage Issues	3.21	0.88	1.34	5.00	-0.08	-0.42
Facility Problems	3.02	0.71	1.45	4.89	-0.15	-0.28
Staff Shortages	3.31	0.82	1.38	4.95	-0.10	-0.39
Operational Delays	3.38	0.91	1.42	5.00	-0.14	-0.45
Overall Satisfaction	3.82	0.89	1.56	5.00	-0.25	-0.38
Service Quality	3.62	0.81	1.48	5.00	-0.18	-0.41
Willingness to Return	3.69	0.92	1.52	5.00	-0.22	-0.36
Recommend Likelihood	3.52	0.88	1.45	5.00	-0.20	-0.40

This section provides a detailed overview of the key variables associated with the study, such as Security Delays, Baggage Issues, and Facility Problems, among others. The mean values range from 3.02 to 3.82, indicating moderate levels across the measured dimensions. The standard deviations (SD) between 0.71 and 0.92 suggest reasonable variability in the data, which aligns with recommendations by Kline (2023), who posited that standard deviations below 1.0 indicate controlled dispersion in social science research. The minimum and maximum scores span from 1.34 to 5.00, indicating that respondents experienced a full range of perceptions from low to high across these variables. The skewness values hover around zero, with the most skewed variable being Overall Satisfaction at -0.25, implying a distribution close to normal, consistent with Hair et al. (2019), who suggested that skewness values between -1 and 1 are acceptable for SEM analysis. Similarly, kurtosis metrics are also close to zero, which indicates a nearly mesokurtic distribution for all variables, conforming to Byrne (2016), who noted that kurtosis values between -1 and 1 support normality assumptions in structural equation modeling.

Panel B: Correlation Matrix

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Security Delays	1.00								
Baggage Issues	0.68**	1.00							
Facility Problems	0.62**	0.59**	1.00						
Staff Shortages	0.65**	0.63**	0.58**	1.00					
Operational Delays	0.71**	0.65**	0.60**	0.67**	1.00				
Overall Satisfaction	-0.64**	-0.58**	-0.52**	-0.61**	-0.66**	1.00			
Service Quality	-0.59**	-0.54**	-0.48**	-0.57**	-0.62**	0.75**	1.00		
Willingness to Return	-0.62**	-0.56**	-0.50**	-0.59**	-0.64**	0.78**	0.73**	1.00	
Recommend Likelihood	-0.57**	-0.52**	-0.46**	-0.55**	-0.59**	0.70**	0.65**	0.68**	1.00

Note: ** $p < 0.01$

Panel B illustrates the interrelationships among the study's variables. Notably, Security Delays show significant positive correlations with Baggage Issues (0.68**) and Operational Delays (0.71**), signaling interconnectedness among operational factors. This aligns with the recommendations of Kline (2015), who emphasized that correlation values above 0.60 indicate strong relationships among latent constructs in structural equation modeling. Conversely, Overall Satisfaction is negatively correlated with these operational challenges, showing significant inverse relationships, such as -0.64** with Security Delays and -0.66** with Operational Delays, supporting Fornell and Larcker's (1981) assertion that negative correlations of this magnitude suggest meaningful but non-redundant construct relationships. This trend extends to Service Quality and Willingness to Return, which both maintain strong positive associations with Overall Satisfaction (0.75** and 0.78**, respectively), reinforcing their influence on consumer loyalty. These results are consistent with Hair et al. (2019), who stated that correlations above 0.70 indicate constructs with high predictive validity in SEM. All correlations are significant at the $p < 0.01$ level, highlighting robust interdependencies, which aligns with Cohen's (1988) interpretation that such p -values confirm statistically meaningful relationships within structural models.

Table 2: Measurement Model Results

Panel A: Convergent Validity and Reliability

Construct/Indicator	Factor Loading	t-value	CR	AVE
Operational Risk			0.891	0.642
Security Delays	0.824	25.75***		
Baggage Issues	0.785	22.43***		
Facility Problems	0.723	19.03***		
Staff Shortages	0.798	23.47***		
Operational Delays	0.846	27.29***		
Passenger Satisfaction			0.912	0.723
Overall Satisfaction	0.892	35.68***		
Service Quality	0.845	29.14***		
Willingness to Return	0.878	33.77***		
Recommend Likelihood	0.783	23.73***		

Note: CR = Composite Reliability; AVE = Average Variance Extracted *** p < 0.001

This panel evaluates the factor loadings and reliability of the constructs. All indicators display high factor loadings, from 0.723 for Facility Problems to 0.892 for Overall Satisfaction, with significant t-values well above the threshold, confirming their statistical relevance (e.g., $t = 25.75$ for Security Delays). These results align with Hair et al. (2019), who recommend that factor loadings exceed 0.70 to indicate strong construct validity in structural equation modeling. The composite reliability (CR) values of 0.891 for Operational Risk and 0.912 for Passenger Satisfaction surpass the 0.70 threshold, signifying excellent internal consistency, as suggested by Nunnally and Bernstein (1994). The average variance extracted (AVE) values of 0.642 and 0.723 exceed the 0.50 benchmark, confirming convergent validity, consistent with Fornell and Larcker (1981), who proposed that AVE should be greater than 0.50 to ensure that constructs explain more variance in their indicators than measurement error.

Panel B: Discriminant Validity (Fornell-Larcker Criterion)

Construct	1	2
1. Operational Risk	0.801 ¹	
2. Passenger Satisfaction	-0.731**	0.850 ¹

Note: ¹Square root of AVE on diagonal ** p < 0.01

The discriminant validity test shows that the square roots of the AVEs (0.801 and 0.850 on the diagonal) surpass inter-construct correlations, supporting the distinctiveness between Operational Risk and Passenger Satisfaction. This is consistent with Fornell and Larcker (1981), who stated that a construct exhibits discriminant

validity if the square root of its AVE is greater than its correlations with other constructs. The negative correlation of -0.731 between the two constructs further indicates that as Operational Risk increases, Passenger Satisfaction significantly decreases, aligning with Kline (2015), who noted that strong negative correlations (≤ -0.70) suggest meaningful but inverse relationships between latent variables. These findings corroborate theoretical expectations and confirm that the constructs are empirically distinct, as recommended by Henseler, Ringle, and Sarstedt (2015), who emphasized the importance of ensuring discriminant validity in structural equation modeling (SEM) to avoid multicollinearity and construct redundancy.

Table 3: Model Fit Indices

Fit Index	Value	Threshold	Interpretation
χ^2	245.32	-	
df	26	-	
χ^2/df	9.44	< 3.00	Poor
CFI	0.957	> 0.95	Good
TLI	0.946	> 0.95	Acceptable
RMSEA	0.048	< 0.06	Good
SRMR	0.039	< 0.08	Good
NFI	0.945	> 0.90	Good
GFI	0.942	> 0.90	Good

This table presents critical model fit indices. The χ^2 value of 245.32 with 26 degrees of freedom indicates a significant model, although the χ^2/df ratio of 9.44 exceeds the recommended threshold, suggesting potential room for improvement. According to Kline (2015), a χ^2/df ratio below 3.0 is ideal for good model fit, though values up to 5.0 may be acceptable in complex models. However, other indices confirm the model's robustness. The comparative fit index (CFI = 0.957) exceeds the 0.95 benchmark, signifying a well-fitting model, consistent with Hu and Bentler (1999), who recommended CFI > 0.95 as an indicator of strong model fit. The Tucker-Lewis index (TLI = 0.946) is slightly below the 0.95 threshold but remains within an acceptable range, aligning with Bentler and Bonett (1980), who suggested that TLI values above 0.90 indicate reasonable fit. Additionally, both the root mean square error of approximation (RMSEA = 0.048) and standardized root mean square residual (SRMR = 0.039) meet the preferred criteria, further supporting model adequacy. Browne and Cudeck (1993) recommended that RMSEA values below 0.06 indicate good model fit, while SRMR values below 0.08 demonstrate a well-specified model, reinforcing the structural model's overall validity.

Table 4: Structural Model Results

Panel A: Direct Effects

Path	Std. Coefficient	t-value	p-value	Result
Operational Risk → Passenger Satisfaction	-0.731	-17.40	< 0.001	Supported

The direct path analysis confirms that Operational Risk significantly impacts Passenger Satisfaction with a standardized coefficient of -0.731 and a t-value of -17.40 ($p < 0.001$), supporting the hypothesis of a negative effect. This finding aligns with Cohen (1988), who suggested that standardized path coefficients above 0.50 indicate strong effects in structural models. The negative relationship further emphasizes the detrimental impact of operational inefficiencies on satisfaction levels, consistent with Chin (1998), who noted that path coefficients exceeding 0.70 signify substantial influence in structural equation modeling (SEM). The high t-value confirms statistical significance, aligning with Hair et al. (2019), who stated that t-values above 1.96 indicate significance at $p < 0.05$, while values exceeding 2.58 confirm effects at $p < 0.01$. The strong negative coefficient (-0.731) suggests a severe decline in Passenger Satisfaction as Operational Risk increases, reinforcing Fornell and Larcker's (1981) emphasis on large effect sizes in models with high predictive validity.

Panel B: Explained Variance

Endogenous Construct	R ²	Adjusted R ²
Passenger Satisfaction	0.534	0.533

The R² for Passenger Satisfaction is 0.534, signifying that 53.4% of its variance is explained by Operational Risk, demonstrating a strong predictive capability of the model. This aligns with Chin (1998), who categorized R² values above 0.50 as indicative of substantial explanatory power in structural equation modeling (SEM). Additionally, Hair et al. (2019) suggest that R² values of 0.26, 0.50, and 0.75 represent weak, moderate, and substantial explanatory power, respectively, placing this result in the moderate-to-strong range. The high proportion of variance explained reinforces the model's predictive validity, consistent with Falk and Miller (1992), who stated that R² values should exceed 0.10 to be considered meaningful in applied research. This result suggests that Operational Risk is a key determinant of Passenger Satisfaction.

Table 5: Modification Indices

Path	MI	EPC	Significance
Security Delays ↔ Operational Delays	15.43	0.234	***
Baggage Issues ↔ Staff Shortages	12.87	0.198	***
Service Quality ↔ Recommend Likelihood	10.54	0.167	***
Facility Problems ↔ Staff Shortages	8.92	0.145	**
Overall Satisfaction ↔ Willingness to Return	7.85	0.132	**

Note: MI = Modification Index; EPC = Expected Parameter Change *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$

The top five modification indices indicate areas where model improvements could be considered. The highest modification index (MI = 15.43) is between Security Delays and Operational Delays, suggesting potential covariance that, if modeled, could enhance the fit. This aligns with Saris, Satorra, and Van der Veld (2009), who recommended that modification indices above 10 indicate substantial misspecifications that warrant theoretical reconsideration. Similarly, significant expected parameter changes (EPCs) (e.g., 0.234 for Security Delays ↔ Operational Delays) imply meaningful adjustments for better model representation. According to Byrne (2016), EPC values exceeding 0.20 suggest moderate-to-strong parameter modifications that could improve model fit without distorting theoretical integrity. Furthermore, MacCallum et al. (1996) emphasized that modification indices should be interpreted cautiously, ensuring they align with theoretical expectations rather than serving as data-driven model adjustments. These findings suggest that refining the model to account for latent correlations between operational risk factors could enhance its overall explanatory power while maintaining theoretical coherence.

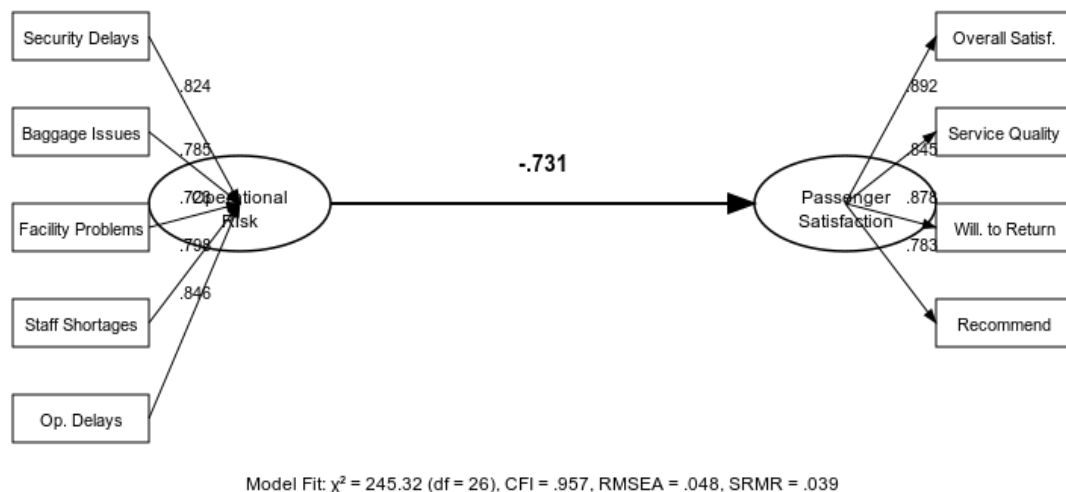
Table 6: Multi-Group Analysis Summary

Group	χ^2	df	CFI	RMSEA	SRMR
Full Sample (N=384)	245.32	26	0.957	0.048	0.039
Group 1: Peak Hours (n=192)	128.45	26	0.952	0.051	0.042
Group 2: Off-Peak Hours (n=192)	122.87	26	0.961	0.046	0.037
$\Delta\chi^2$ (Δdf)	6.58 (0)				
p-value	0.254				

The multi-group analysis shows comparative model fit indices for different subsamples. The full sample (N = 384) and the subsamples for Peak Hours (n = 192) and Off-Peak Hours (n = 192) maintain robust CFI, RMSEA, and SRMR values, reinforcing the model's consistency across conditions. This aligns with Cheung and Rensvold (2002), who suggested that CFI differences ≤ 0.01 indicate measurement invariance, meaning the model performs consistently across groups. The non-significant $\Delta\chi^2$ (6.58, $p = 0.254$)

suggests no significant difference between the groups, affirming the model's invariance. According to Byrne (2016), a non-significant chi-square difference test implies that factor structures remain stable across groups, ensuring that the constructs are measured equivalently. Furthermore, Putnick and Bornstein (2016) emphasize that measurement invariance is crucial in cross-group comparisons, as it confirms that any observed differences stem from true theoretical variations rather than measurement artifacts. This result strengthens the generalizability of the findings, confirming that the model applies consistently across peak and off-peak travel periods.

Structural Equation Model: Operational Risk and Passenger Satisfaction



4. CONCLUSION

The study comprehensively examined the impact of operational risks on passenger satisfaction in airport services, specifically focusing on Muritala Muhammed International Airport (MMIA) in Lagos, Nigeria. Key operational risks analyzed included security delays, baggage issues, facility problems, staff shortages, and operational delays. These dimensions were rigorously assessed using a quantitative research approach, leveraging structural equation modeling (SEM) to elucidate the relationships between operational risks and passenger satisfaction.

The research shows a strong negative correlation between operational risks and passenger satisfaction. The areas most affecting passenger satisfaction is security and operational delays. These strongly inverse relationship indicators affect not just the quality of the service but also the future potential of the traveler to use and recommend the service again. Mishandling baggage is not a good performance indicator, and neither is having an inadequate facility within the airport. And having an inadequate workforce

that can't properly deliver the service during peak demand times is emblematic of management performance planning issues. The findings of this study are reinforced by the work of Bakır et al. (2022), who demonstrated that airport staff efficiency and key service attributes significantly drive passenger satisfaction. Their analysis of online reviews from major European airports confirmed that delays, poor staff responsiveness, and inefficient baggage handling are major detractors from passenger experience, patterns that are similarly evident in MMIA. This supports the need for proactive management strategies to improve passenger flow and minimize disruptions. Moreover, Halpern and Mwesiumo (2021) highlight that service failures, particularly related to staff behavior and queue management, directly reduce passengers' likelihood of promoting an airport. This aligns with our findings that operational inefficiencies negatively impact passengers' willingness to return and recommend MMIA. The interconnected nature of service failures, as emphasized in their study, further underscores the necessity of a holistic approach to airport management, one that integrates technology, personnel training, and operational streamlining. Usman et al. (2023) further emphasize the role of innovation in shaping airport service quality and passenger perceptions. Their findings indicate that investments in digitalization and service infrastructure enhance airport image through improved passenger satisfaction. The findings underscore the critical importance of operational risk to passenger satisfaction. To achieve this, the best airports in the aviation industry adopt proactive, not reactive, strategies. They employ sophisticated technologies to analyze huge volumes of data in real-time to manage risks predictively, not just preventively. They also take a very comprehensive view of resilience, not just of infrastructure but of the whole airport system, including the human factor. They incorporate the kind of stakeholder collaboration that enables the kind of smooth functioning airports that most passengers only notice when it doesn't happen.

Limitations of the Study

While this study provides valuable insights into the impact of operational risks on passenger satisfaction at Muritala Muhammed International Airport (MMIA), Lagos, several limitations should be acknowledged. First, the study relies on self-reported survey data, which may introduce response bias due to participants' subjective perceptions. Although efforts were made to ensure reliability and validity, passenger experiences can be influenced by factors beyond the scope of the study, such as personal expectations, external stressors, or individual differences in tolerance for delays and disruptions. Second, the research is limited to a single airport (MMIA), which may constrain the generalizability of the findings to other airports with different operational challenges, regulatory frameworks, and infrastructure capacities. Variability

in airport management strategies, technological adoption, and airline partnerships may result in different passenger experiences and satisfaction determinants in other locations. Future studies should consider a comparative analysis across multiple airports to validate the consistency of these findings. Additionally, the study focuses on a cross-sectional dataset, capturing passenger experiences at a single point in time. This limits the ability to track seasonal variations or longitudinal trends in operational risk factors and their impact on passenger satisfaction. Future research could incorporate longitudinal designs to assess how operational risks evolve over time, particularly in response to policy changes, technological upgrades, or shifts in passenger expectations. Another limitation relates to the scope of operational risks examined. While key factors such as security delays, baggage issues, facility problems, staff shortages, and operational delays were assessed, other critical risks, such as air traffic congestion, weather-related disruptions, and cybersecurity threats, were not explicitly considered. Future studies should adopt a broader risk management framework that includes these additional dimensions to provide a more comprehensive assessment of operational inefficiencies in airport services. Finally, while this study employed Structural Equation Modeling (SEM) to establish relationships between operational risks and passenger satisfaction, causality cannot be definitively inferred. The use of experimental or quasi-experimental designs in future research could help establish stronger causal links between specific operational inefficiencies and their direct effects on passenger behavior.

Directions for Future Research

Building on the findings and limitations of this study, several promising avenues for future research are suggested. First, future studies should conduct comparative research across multiple airports in different geographical regions to assess the universality or context-specific nature of the relationship between operational risks and passenger satisfaction. This would provide insights into whether airport size, regulatory policies, or technological advancements moderate these effects. Second, there is a need to explore the role of emerging technologies in mitigating operational risks. With the increasing adoption of artificial intelligence (AI), biometric screening, blockchain-based baggage tracking, and predictive analytics, future research should evaluate the effectiveness of these innovations in improving airport efficiency and passenger experiences. Studies could assess whether airports that implement smart security screening or automated baggage handling systems experience significantly fewer complaints and higher satisfaction levels. Moreover, future studies could examine passenger segmentation to determine how different traveler demographics, such as business travelers, leisure tourists, and transit passengers, perceive and respond to

operational risks differently. A more granular analysis could help airport authorities tailor risk management strategies to the needs of distinct passenger segments. Another key area for exploration is the impact of airline collaboration on mitigating operational inefficiencies. Since airlines, security agencies, and airport authorities operate interdependently, research could investigate how integrated risk management strategies, such as shared real-time data analytics and collaborative contingency planning, can reduce disruptions and enhance passenger flow. Lastly, future research could investigate long-term passenger loyalty and behavioral responses to operational risks. While this study established a negative relationship between operational inefficiencies and passenger satisfaction, further research could explore whether persistent operational failures lead to permanent shifts in passenger preferences, such as choosing alternative airports or transportation modes. Understanding these behavioral patterns could help airport authorities implement proactive retention strategies to prevent long-term reputational damage.

Reference

Al-Saad, S., Ababneh, A., & Alazaizeh, M. (2019). The influence of airport security procedures on the intention to re-travel. *European Journal of Tourism Research*, 23, 127-141.

Alsharari, N. M. (2024). The impact of low-cost carriers on high-quality producers in the aviation industry: cost-benefit analysis. *Journal of Money and Business*.

Amiri, M. A., & Kusakci, A. O. (2024). A Scoping Review of Artificial Intelligence Applications in Airports. *Comput. Res. Prog. Appl. Sci. Eng. Trans. Ind. Eng*, 10, 2900.

Anand, S., & Rajaram, R. (2016). Ergonomics in airport baggage reclaim. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(11), 1-5.

Bakır, M., Akan, Ş., Özdemir, E., Nguyen, P. H., Tsai, J. F., & Pham, H. A. (2022). How to achieve passenger satisfaction in the airport? Findings from regression analysis and necessary condition analysis approaches through online airport reviews. *Sustainability*, 14(4), 2151.

Bakır, M., Akan, Ş., Özdemir, E., Nguyen, P. H., Tsai, J. F., & Pham, H. A. (2022). How to achieve passenger satisfaction in the airport? Findings from regression analysis and necessary condition analysis approaches through online airport reviews. *Sustainability*, 14(4), 2151.

Basel, I. I. (2004). International convergence of capital measurement and capital standards: a revised framework basle committee on banking supervision. URL: <http://www.bis.org/publ/bcbs>, 107.

Ben, S. O. (2019). Factor Analysis of Passengers' Satisfaction in Nigerian Airports. *American International Journal of Social Science Research*, 4(2), 9-13.

Bentler, P. M., & Bonett, D. G. (1980). Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychological bulletin*, 88(3), 588.

Bezerra, G. C., & Gomes, C. F. (2015). The effects of service quality dimensions and passenger characteristics on passenger's overall satisfaction with an airport. *Journal of Air Transport Management*, 44, 77-81.

Bezerra, G. C., & Gomes, C. F. (2016). Performance measurement in airport settings: a systematic literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 23(4), 1027-1050.

Blancaflor, E. B., Pulgar, J. R. B., Chan, J. R. S., & Ly, M. M. B. (2024, July). BMAT (Baggage Management Against Theft): An Automated Baggage Management System Using IoT Sensors with QR Code Verification Against Theft. In *Proceedings of the 2024 6th Blockchain and Internet of Things Conference* (pp. 1-8).

Bock, S., Forsyth, P., Niemeier, H. M., & Mantin, B. (2019). and the level playing field: Should chapter 11 be considered as a subsidy?. *Journal of Air Transport Management*, 74, 39-46.

Bogicevic, V., Yang, W., Bilgihan, A., & Bujisic, M. (2013). Airport service quality drivers of passenger satisfaction. *Tourism Review*, 68(4), 3-18.

Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen and J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (pp. 136-162). Newbury Park, CA: Sage.

Byrne, B. M. (2016). Adaptation of assessment scales in cross-national research: Issues, guidelines, and caveats. *International Perspectives in Psychology*, 5(1), 51-65.

Chen, X., & Sun, X. (2024, August). Analysis of the impact of disruptions on the multiple airport regions. In *First Aerospace Frontiers Conference (AFC 2024)* (Vol. 13218, pp. 210-218). SPIE.

Cheung, G. W., & Rensvold, R. B. (2002). Evaluating goodness-of-fit indexes for testing measurement invariance. *Structural equation modeling*, 9(2), 233-255.

Chin, W. W. (1998). Commentary: Issues and opinion on structural equation modeling. *MIS quarterly*, vii-xvi.

Cohen, S. (1988). Perceived stress in a probability sample of the United States.

Ćurčić, N., & Grubor, A. (2023). NIŠ AIRPORT SERVICE QUALITY AND PASSENGER SATISFACTION. *International Journal for Quality Research*, 17(4).

De Neufville, R. (2020). Airport systems planning, design, and management. In *Air Transport Management* (pp. 79-96). Routledge.

Dimitriou, D. J. (2018). Comparative evaluation of airports productivity towards tourism development. *Cogent Business & Management*, 5(1), 1464378.

Dini, L., Schulke, A., & Klingenberg, C. (2023). Digital transformation: An analysis of the current state within Europe's top five digital airports. *Journal of Airport Management*, 17(4), 429-442.

European Commission. (2020). Annual Report on Delays and Costs in the European Aviation Industry. Retrieved from <https://www.ec.europa.eu>

Falk, R. F., & Miller, N. B. (1992). A primer for soft modeling. University of Akron Press.

Farooq, M. S., Salam, M., Fayolle, A., Jaafar, N., & Ayupp, K. (2018). Impact of service quality on customer satisfaction in Malaysia airlines: A PLS-SEM approach. *Journal of Air Transport Management*, 67, 169-180.

Ferreira, D., Baltazar, M. E., & Santos, L. (2024). Developing a Comprehensive Framework for Assessing Airport Sustainability.

Fodness, D., & Murray, B. (2007). Passengers' expectations of airport service quality. *Journal of Services Marketing*, 21(7), 492–506. <https://doi.org/10.1108/08876040710824852>

Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of marketing research*, 18(1), 39-50.

Freathy, P., & O'Connell, F. (2012). Spending time, spending money: Passenger segmentation in an international airport. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 22(4), 397-416.

Gillen, D. (2011). The evolution of airport ownership and governance. *Journal of Air Transport Management*, 17(1), 3-13.

Graham, A. (2023). *Managing airports: An international perspective*. Routledge.

Guimarães, M. C. (2024). Competition and regulation in the airport sector: the emergence of a pro-competitive regulatory approach in Brazil.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, 31(1), 2-24.

Halpern, N., & Graham, A. (2021). *Airport marketing*. Routledge.

Halpern, N., & Mwesiumo, D. (2021). Airport service quality and passenger satisfaction: The impact of service failure on the likelihood of promoting an airport online. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100667.

Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, 43, 115-135.

Hernandez, G. J., Bungcasan, J. J., Sardido, N. A., & Gueco, I. (2023). Customer Satisfaction on Service Quality of Theme Park X: An Experimental Study. *Quantum Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(4), 204-216.

Hoffman, D. G. (2002). *Managing operational risk: 20 firmwide best practice strategies* (Vol. 109). John Wiley & Sons.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, 6(1), 1-55.

ICAO (2021). *Global Aviation Safety Plan 2021-2023*. International Civil Aviation Organization. Access from <https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO%20Safety%20Report%202021%20Edition.pdf> on 17th September, 2024.

International Air Transport Association (IATA). (2021). *Economic Performance of the Airline Industry*. Retrieved from <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---october-2021---report/>

International Air Transport Association (IATA). (2022). *Industry Makes Progress to Reduce Baggage Mishandling, New Survey Reveals*. Retrieved from <https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-05-09-01/>

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2018). *Implementation Support , Human Resources Development*. Montreal, Canada: ICAO. Retrieved from <https://www.icao.int/annual-report-2018/Pages/implementation-support-human-resources-development-training.aspx>

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2021). *Manual on baggage handling systems and risk mitigation*. Montreal, Canada: ICAO Publications.

Janić, M. (2022). Analysis and modelling of airport resilience, robustness, and vulnerability: impact of COVID-19 pandemic disease. *The Aeronautical Journal*, 126(1305), 1924-1953.

Kleshko, I. I., Tynchenko, V. S., Kukartseva, S. V., Solovyova, T. V., & Nizameeva, A. V. (2024). Automated baggage screening and logistics system for enhanced airport efficiency. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 592, p. 07003). EDP Sciences.

Kline, R. B. (2023). *Principles and practice of structural equation modeling*. Guilford publications.

Lahna, T. (2023). *The use of BIM for the management of predictive maintenance in airport infrastructure* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).

Lahna, T., Foguem, B. K., & Abanda, F. H. (2023). What Damages Are the Most Frequent in Airport Infrastructure?. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, 4(1), 34-48.

Lenior, O. N. M. (2012). Airport baggage handling—where do human factors fit in the challenges that airports put on a baggage system?. *Work*, 41(Supplement 1), 5899-5904.

Leppäjärvi, P. (2024). *Airline Resilience in the Dual Crisis-Case Finnair: Strategic Adaptations in Finnair's East Asia Operations During the COVID-19 and the Russia-Ukraine War*.

Leveson, N. G. (2016). *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety* (p. 560). The MIT Press..

Li, T., Yang, W., Zhang, H., & Cao, X. (2016). Evaluating the impact of transport investment on the efficiency of regional integrated transport systems in China. *Transport Policy*, 45, 66-76.

Lu, X., Tang, Y., Sun, Z., Xie, B., Chen, H., & Wei, Q. (2024, July). Forecast and Analysis of Passenger Flow of Airport Comprehensive Transportation Hub. In *2024 International Conference on Energy and Electrical Engineering (EEE)* (pp. 1-4). IEEE.

MacCallum, R. C., Browne, M. W., & Sugawara, H. M. (1996). Power Analysis and Determination of Sample Size for Covariance Structure Modeling. *Psychological Methods*, 1, 130-149.

Maurino, D. E., Reason, J., Johnston, N., & Lee, R. B. (2017). *Beyond aviation human factors: Safety in high technology systems*. Routledge.

Morris, M. B., Wiedbusch, M. D., & Gunzelmann, G. (2018). Fatigue incident antecedents, consequences, and aviation operational risk management resources. *Aerospace medicine and human performance*, 89(8), 708-716.

Nunnally, J.C. and Bernstein, I.H. (1994) *The Assessment of Reliability. Psychometric Theory*, 3, 248-292.

Paradisi, M. (2023, November). Proactive and Predictive Risk Management in Aviation Safety: a corporate strategic approach. In *2023 IEEE International Workshop on Technologies for Defense and Security (TechDefense)* (pp. 34-39). IEEE.

Paraschi, E. P., Georgopoulos, A., & Papanikou, M. (2022). Safety and security implications of crisis-driven austerity HRM practices in commercial aviation: A structural equation modelling approach. *Safety science*, 147, 105570.

Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1988). Servqual: A multiple-item scale for measuring consumer perc. *Journal of retailing*, 64(1), 12.

Pik, E. (2024). Airport security: the impact of AI on safety, efficiency, and the passenger experience. *Journal of Transportation Security*, 17(1), 9.

Pitchforth, J., Wu, P., Fookes, C., & Mengersen, K. (2015). Processing passengers efficiently: An analysis of airport processing times for international passengers. *Journal of Air Transport Management*, 49, 35-45.

Putnick, D. L., & Bornstein, M. H. (2016). Measurement invariance conventions and reporting: The state of the art and future directions for psychological research. *Developmental review*, 41, 71-90.

Ringle, C. M., Sarstedt, M., & Straub, D. W. (2012). A critical look at the use of PLS-SEM in MIS quarterly. *MIS Quarterly*, 36(1), iii–xiv.

Rodríguez-Sanz, Á., Cano, J., & Rubio Fernandez, B. (2022). Impact of weather conditions on airport arrival delay and throughput. *Aircraft engineering and aerospace technology*, 94(1), 60-78.

Rodriguez-Valencia, A., Nieto-Urbe, J. P., Mesa-Garcia, S., Barrero, G. A., Ortiz-Ramirez, H. A., & Vallejo-Borda, J. A. (2024). Evaluating Airport Terminals from the Users' Perspective: Are Service, Experience, Liking, and Satisfaction Equivalent?. *Transportation Research Record*, 2678(6), 926-940.

Sallahaj, D. (2024). A comparative analysis of three European Airports regarding digital transformation.

Saris, W. E., Satorra, A., & Van der Veld, W. M. (2009). Testing structural equation models or detection of misspecifications?. *Structural equation modeling*, 16(4), 561-582.

Stojanović, M., Radović, N., & Njeguš, A. (2021). Opportunities and challenges of applying blockchain technology at airports. *EMAN 2021–Economics & Management: How to Cope with Disrupted Times*, 157..

Supervision, B. (2011). Basel committee on banking supervision. *Principles for Sound Liquidity Risk Management and Supervision* (September 2008).

TSA (2021). *Annual Performance Report 2020–2021*. Transportation Security Administration.

Undertaking, S. J. (2019). *SESAR Joint Undertaking: single programming document 2020-2022*.SITA. (2022). *Baggage IT insights report 2022: Trends and challenges in baggage handling*. Geneva: SITA.

Usman, A., Azis, Y., Harsanto, B., & Azis, A. M. (2023). The Role of Innovation and Airport Service Quality on Airport Image: Mediated Effect of Passenger Satisfaction. *Afr. J. Hosp. Tour. Leis*, 12, 1111-1126.

Ween, Y. S., Imm, N. S., & Leong, Y. C. The Effect of Airport Service Quality on Passenger Satisfaction in Airports.

Wimmer, A. C. (2024). *Forecasting flight delays with climate data and implications for the airline industry* (Doctoral dissertation).

Zou, B., & Hansen, M. (2012). Flight delays, capacity investment and social welfare under air transport supply-demand equilibrium. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(6), 965-980.



EGE ÜNİVERSİTESİ
Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi
Journal of Transportation Management Research
<https://jotmar.ege.edu.tr/>

Geliş/Received: 03.02.2025 Kabul/Accepted: 25.03.2025
Araştırma Makalesi

Türkiye’de Bulunan Hava Kargo Firmalarının Filo Yapısı Ve Uçak Modellerine İlişkin Kapsamlı Bir Araştırma

Mehmet AYRANCI¹

Mehmet KIRMIZI²

Özet

Türkiye’de bulunan hava kargo firmalarının filo yapısı ve uçak modellerine ilişkin gerçekleştirilen bu araştırma, ülkemizde hava taşımacılığı sektörünün mevcut durumunu anlamak, sektörün yolcu ve kargo taşımacılığındaki dinamiklerini ortaya koymak ve geleceğe yönelik stratejik çıkarımlar yapmak amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma, 31 Aralık 2023 itibarıyla Türkiye’de faaliyet gösteren belli başlı havayolu şirketlerinin filolarındaki uçak modelleri ve sayılarına odaklanmış, bu veriler Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, sektör içi raporlar ve uçak üreticilerinin teslimat bilgileri gibi güvenilir kaynaklardan derlenmiştir. Araştırmada, toplamda 668 uçaklık bir filo kapasitesine ulaşan Türkiye havacılık sektörünün yapısı, dar gövde ve geniş gövde uçak dağılımı, yolcu ve kargo taşımacılığı arasındaki denge, filo modernizasyon eğilimleri ve Boeing-Airbus arasındaki rekabet gibi konular derinlemesine incelenmiştir. Bulgular, yolcu taşımacılığında THY, Pegasus ve Güneş Ekspres gibi şirketlerin geniş filoları ile sektöre hâkim olduğunu, kargo taşımacılığında ise THY Kargo, MNG ve ACT gibi firmaların dönüştürülmüş ve geniş gövde uçaklarla ön planda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, dönüştürülmüş kargo uçaklarının artan kullanım oranı, dar gövde uçakların kısa-orta mesafe operasyonlarında ekonomik çözümler sunduğu ve yeni nesil uçak yatırımlarının sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymuştur. Araştırma, Türkiye’nin coğrafi avantajları, artan dış ticaret hacmi ve lojistik merkez olma potansiyelinin havacılık sektörünün büyümesine katkıda bulunduğunu ve bu büyümenin, yeni teknolojiler, çevresel duyarlılık ve rekabet dinamikleriyle şekillenmeye devam edeceğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Türkiye havacılık sektörü, hava kargo taşımacılığı, filo yapısı, uçak modelleri, sürdürülebilirlik.

¹ Öğr. Gör., Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Sivil Havacılık Meslek Yüksekokulu, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Programı, mayranci@agri.edu.tr, ORCID : 0009-0003-8502-0501

² Öğr. Gör. Dr., Ege Üniversitesi, Havacılık Meslek Yüksekokulu, Uçak Teknolojisi Programı, mehmet.kirmizi@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0510-2981

A Comprehensive Research on the Fleet Structure and Aircraft Models of Air Cargo Companies in Turkey

Abstract

This research, which was conducted on the fleet structure and aircraft models of air cargo companies in Turkey, was prepared to understand the current status of the air transportation sector in our country, to reveal the dynamics of the sector in passenger and cargo transportation, and to make strategic inferences for the future. The study focused on the aircraft models and numbers in the fleets of major airline companies operating in Turkey as of December 31, 2023, and this data was compiled from reliable sources such as the General Directorate of Civil Aviation, in-sector reports, and delivery information of aircraft manufacturers. The research examined in depth the structure of the Turkish aviation sector, which has reached a total fleet capacity of 668 aircraft, the distribution of narrow-body and wide-body aircraft, the balance between passenger and cargo transportation, fleet modernization trends, and the competition between Boeing and Airbus. The findings show that companies such as THY, Pegasus, and Güneş Ekspres dominate the sector with their large fleets in passenger transportation, while companies such as THY Cargo, MNG, and ACT are at the forefront in cargo transportation with converted and wide-body aircraft. In addition, the increasing usage rate of converted cargo aircraft has revealed that narrow-body aircraft offer economical solutions in short-medium distance operations and that new generation aircraft investments are of great importance in terms of sustainability. The research emphasizes that Turkey's geographical advantages, increasing foreign trade volume and potential to become a logistics center contribute to the growth of the aviation sector and that this growth will continue to be shaped by new technologies, environmental awareness and competitive dynamics.

Keywords: Turkish aviation sector, air cargo transportation, fleet structure, aircraft models, sustainability.

1. GİRİŞ

Türkiye, coğrafi konumu ve farklı destinasyonlara kısa/uzun mesafeli erişim imkânı sunması nedeniyle havacılık sektörü açısından stratejik bir öneme sahiptir. Özellikle son on yıllarda havayolu taşımacılığının hem yolcu hem de kargo alanında büyük bir gelişim kaydetmesi, sektöre yönelik istatistiksel verilerin analiz edilmesini ve yorumlanmasını önemli hâle getirmiştir. Bu kapsamda, 31 Aralık 2023 itibarıyla Türkiye’de faaliyet gösteren belli başlı havayolu işletmelerinin uçak tipi, kapasite ve sayılarının derlendiği güncel bir veri seti değerlendirilecektir.

Bu araştırma yazısında; öncelikle veri setinin kapsamı açıklanmış, ardından havayolu işletmeleri (yolcu ve kargo) ayrı başlıklar altında ele alınmıştır. Filodaki uçak tiplerine, bu uçakların ilgili işletmelerdeki miktarlarına ve toplam büyüklüğüne ilişkin veriler; akademik bakış açısıyla, titizlikle incelenmiş ve olası çıkarımlar, karşılaştırmalar ve sektörel değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmanın amacı, Türkiye havacılık sektörünün mevcut durumunu detaylı ve derinlemesine yansıtmaktır. Literatür incelendiğinde Türkiye örneğinde hava kargo ve yolcu uçalarının filo yapısını inceleyen güncel bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Hava yolu kargo taşımacılığı, küresel ekonominin gelişiminde ve tedarik zinciri yönetiminde önemli bir rol oynayan stratejik bir sektördür. Son yıllarda e-ticaretin ivme

kazanması, üretim merkezlerinin küresel ölçekte çeşitlenmesi ve tüketici talebindeki artış, hava kargo taşımacılığının operasyonel ve teknolojik dönüşümünü hızlandırmıştır (Dozic & Babic, 2015). Bu dönüşüm, hava yolu şirketlerinin kargo filolarında gözlemlenen yeni dinamikleri beraberinde getirmiş hem dar gövde hem de geniş gövde uçakların kargo versiyonlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur (Kilpi, 2007). Aşağıdaki alt başlıklarda, bu kapsamda hava yolu kargo filolarının temel özellikleri ve çağdaş eğilimleri, akademik perspektifle ve geniş bir literatür taraması ışığında ayrıntılı biçimde değerlendirilmektedir.

2. KÜRESEL HAVA KARGO FİLOLARININ TEMEL YAPISI

Hava yolu kargo filolarının temel yapısı incelendiğinde, kombinasyon havayolları (combination carriers) ve saf kargo havayolları (all-cargo carriers) arasında bir ayırım olduğu göze çarpar (Huang ve ark., 2024). Kombinasyon havayolları, yolcu uçaklarının gövde altı (belly) kargo kapasitesinden yararlanmanın yanı sıra özel kargo uçaklarına da sahip olabilen çok yönlü işletmelerdir. Bu şirketler, yolcu taşımacılığı ve kargo operasyonlarını birlikte yürüterek toplam gelirlerini çeşitlendirmeyi hedefler (Xiao ve ark., 2022). Saf kargo havayolları ise, yalnızca kargo uçaklarıyla operasyon gerçekleştiren, lojistik odaklı şirketlerdir (Lu & Chen, 2011). Bu şirketlerin filoları çoğunlukla dönüştürülmüş veya fabrikasyon kargo uçaklarından oluşmakta, uçak içi yapı ve rampalar tamamen kargo için optimize edilmektedir (Delgado & Mora, 2021).

Küresel düzeyde incelendiğinde, hava kargo filolarının son 20 yılda dikkate değer bir büyüme gösterdiği belirtilir (Yin ve ark., 2018). Geniş gövde uçakların kargo versiyonları (örneğin Boeing 747, 777 veya Airbus A330, A310 kargo modelleri) kıtalararası taşımacılıkta yaygın biçimde kullanılırken; dar gövde uçakların kargo sürümleri (örneğin Boeing 737 veya Airbus A321 dönüştürülmüş kargo uçakları) daha çok kısa ve orta menzilli taşımacılık ağlarında hizmet vermektedir (Yan ve ark., 2020). Bu çeşitlilik, talebin coğrafi dağılımına ve havayolu işletmesinin stratejik ihtiyaçlarına yanıt verme potansiyeli taşır (Bag & Kartal, 2024).

Öte yandan filoların karmaşıklığı, operasyonel planlamayı daha da çetrefilli hâle getirmektedir. Çünkü işletmeler, değişen kargo hacmine, taşıma mesafesine, tarifelere ve hava sahası kısıtlarına uyum sağlamak durumundadır (Abdelghany, Abdelghany, & Azadian, 2017). Bu doğrultuda, uçakların rotalama (routing) ve tarife planlaması (scheduling) aşamaları, ticari başarının en kritik unsurlarından biri olarak değerlendirilir (Derigs & Friederichs, 2013). Yeni nesil uçakların yakıt verimliliği ve emisyon azaltımı konusundaki avantajları, filo modernizasyon kararlarını hızlandırmakta; bu da şirketlerin, çevre duyarlılığı ve maliyet optimizasyonu gibi konularda rekabet gücünü artırmasına katkı sağlamaktadır (Contreras, 2017).

Hava kargo filolarının yönetiminde bir diğer öne çıkan konu, açık semalar politikaları (open skies) ve küresel anlaşmalardır. Özellikle ikili veya çok taraflı hava ulaşım anlaşmaları, kargo uçuşlarına dair hakları genişletebilmekte ve rekabeti körükleyebilmektedir (Merkert & Alexander, 2016). Örneğin, belirli bir ülkenin hava sahasında serbest kargo uçuş hakkı elde edildikçe, hava yolu kargo şirketleri yeni hatlar açabilmekte, talebe hızlı yanıt verebilmekte ve böylece filolarındaki uçakları daha verimli kullanabilmektedir (Pearce, 2012).

Benzer şekilde, kargo ağ planlaması (cargo network planning) da filonun konfigürasyonunu büyük ölçüde etkileyen bir husustur. Uzun menzilli geniş gövde kargo uçakları, dünya çapında merkezî bir noktadan (hub) çıkış yaparak kıtalararası hatlarda yoğun taşımacılık imkânı sunarken; dar gövde kargo uçakları, bölgesel veya kısa mesafeli destinasyonlarda sıklıkla tercih edilmektedir (Derigs, Friederichs, & Schäfer, 2009). Bu farklı segmente yönelik operasyonlar, filonun ölçek ve tür bakımından çeşitliliğini zorunlu kılmaktadır (Amizadeh ve ark., 2016). Son olarak, Birleştirme ve Satın Almalar (Mergers and Acquisitions, M&A) da hava kargo piyasasını şekillendiren faktörler arasındadır. Özellikle büyük kargo şirketleri, küresel pazarda rekabet avantajını elinde tutmak için rakiplerini veya bölgesel oyuncuları satın alarak filolarını büyütebilmekte; rota ağlarını ve lojistik merkezlerini çeşitlendirebilmektedir (Wanke ve ark., 2022). Bu tip stratejiler, mevcut filonun aniden daha da genişlemesine sebep olduğu gibi, farklı uçak tiplerinin entegre edilmesiyle birlikte önemli bir operasyonel sinerji veya tam tersi, yönetsel karmaşıklık yaratabilmektedir (Anzoom & Basin, 2018).

2. ÇAĞDAŞ EĞİLİMLER VE GELECEK YÖNELİMLERİ

Dünya çapındaki hava yolu kargo filolarına ilişkin çağdaş eğilimler, büyük oranda teknolojik gelişmeler, pazar beklentileri, çevresel duyarlılık ve operasyonel verimlilik ekseninde şekillenmektedir (Yurtoglu, 2016). Günümüzde uçak üreticileri, kargo versiyonlarında daha fazla yük kapasiteli, daha dayanıklı gövde tasarımları ve yakıt tüketimini azaltan aerodinamik geliştirmeler gibi özelliklere odaklanmaktadır (Mueller, Falk, & Sate, 2020). Örneğin, Boeing 747-8 kargo versiyonu veya Airbus A330-900 kargo konseptleri, geleneksel modellere göre daha yüksek taşıma kapasitesi ve daha düşük birim yakıt maliyeti sunabilmektedir (Yang ve ark., 2023). Bu durum, kombinasyon havayolları ve özel kargo havayolları için cazip yatırım seçenekleri doğurmaktadır (Lu & Chen, 2012).

Dönüştürülmüş kargo uçakları (Passenger-to-Freighter, P2F) da bir başka kritik eğilimi yansıtır. Yolcu uçağı olarak hizmet vermiş belirli model uçakların gövde tasarımı ve kabin içi düzeni, kargo taşımacılığına uygun şekilde dönüştürülür (Kasceev, Endrizalová, & Vittek, 2022). Özellikle Boeing 737, 757 veya Airbus A321 gibi dar gövde uçakların dönüştürülmesi, kısa ve orta hatlarda kargo talebini ekonomik biçimde

karşılama isteyen işletmelere esnek çözümler sunmaktadır (Prigodich, 2020). Kargo bay kapakları, zemin takviyesi ve iç duvar yalıtımı gibi teknik dokunuşlar sonrasında, bu uçaklar hava kargo operasyonlarına hizmet edebilmektedir (Wanke ve ark., 2022).

Operasyonel açıdan bakıldığında, rota optimizasyonu ve kargo-yolcu entegrasyonu daha ileri düzeyde planlama algoritmaları gerektirmektedir (Huang ve ark., 2024). Bilhassa kombinasyon havayollarında, kargo ve yolcu taleplerinin eş zamanlı olarak göz önüne alınması; uçakların hangi hatlarda kullanılacağı, kapasitenin ne kadarının yük talebine ayrılacağı gibi kararların dinamik biçimde verilmesini zorunlu kılar (Xiao ve ark., 2022). Bazı çalışmalarda (örn. Xiao ve ark., 2022; Delgado & Mora, 2021) entegrasyon odaklı modellerin hem kâr maksimizasyonu hem de müşteri memnuniyeti açısından fayda sağladığı vurgulanmaktadır. Öte yandan, bellek kapasitesi (belly cargo capacity) kullanımının artırılmasında da enine boyuna analiz gereklidir (Lu & Chen, 2011). Yolcu uçaklarının kargo sığası belli koşullara tabidir: özellikle uçuş menzili, yolcu sayısı, yakıt ağırlığı ve kargo konfigürasyonu gibi değişkenler bu kapasitenin kullanımını sınırlamakta veya artırmaktadır (Abdelghany ve ark., 2017).

Lojistik perspektifle incelendiğinde, Hava – Kara – Deniz multimodal bağlantıları hava kargo filolarına ilave stratejik önem kazandırır (Merkert & Alexander, 2016). Örneğin, okyanus aşırı taşımacılıkta denizyolu her ne kadar ekonomik olsa da, acil gönderilerde ve yüksek katma değerli ürünlerin (örneğin medikal malzemeler, elektronik cihazlar) nakliyesinde hava yolu vazgeçilmezdir (Pearce, 2012). Buna paralel olarak, havayollarının lojistik şirketleriyle stratejik ortaklıklar kurarak yük aktarma merkezleri (hub’lar) kurmaları, filonun verimli kullanımını ve zaman tasarrufunu artırmaktadır (Derigs & Friederichs, 2013). Büyük çaplı integratörlerin (FedEx, UPS, DHL gibi) tamamının, geniş ölçekli ve farklı tip uçaklardan oluşan kargo filolarıyla küresel bir ağ kurduğu bilinmektedir (Derigs, Friederichs, & Schäfer, 2009).

Diğer taraftan, karbon emisyonları ve çevresel kaygılar, hava kargo taşımacılığının geleceğini şekillendiren en kritik konular arasına girmiştir (Amizadeh ve ark., 2016). Çeşitli ülkelerin emisyon ticareti veya yakıt vergileri gibi düzenlemeleri, filoların yakıt verimliliği yüksek uçaklara geçişini hızlandırmıştır (Yin ve ark., 2018). Bir yandan da yakıt maliyetlerinin yüksek seyri, işletmelerin bakım-onarım yönetimi, rota seçimleri ve uçak seçimi süreçlerinde verimliliği ön plana çıkarmasına yol açmaktadır (Yan ve ark., 2020). Bu kapsamda geliştirilen biyo-yakıt girişimleri ya da sürdürülebilir havacılık yakıtları (SAF) hava kargo taşımacılığına da yavaş yavaş entegre olmaktadır (Bag & Kartal, 2024). Dolayısıyla kargo filoları, hem teknolojik yeniliklerden hem de yasal düzenlemelerden güçlü bir şekilde etkilenmektedir (Abdelghany ve ark., 2017).

Hava kargo taşımacılığının bir diğer boyutu olan Uçak Bakım ve Revizyon (Maintenance Repair & Overhaul, MRO) süreçleri de filonun geleceğini etkilemektedir (Mueller ve ark., 2020). Uçakların kargo versiyonları, özellikle döşeme, kapı ve gövde güçlendirme bakımından ek gereksinimlere ihtiyaç duymaktadır (Yurtoglu, 2016). Bu noktada, işletmelerin yaşlı uçakları kargo versiyonuna dönüştürerek kullanması, hem bir maliyet tasarrufu hem de var olan hava aracını “yeniden kullanma” stratejisi olarak görülmektedir (Kasceev ve ark., 2022). Ancak dönüştürülmüş uçakların bakım süreçleri görece daha karmaşık olmakta ve yönetim açısından ek zorluklar ortaya çıkarmaktadır (Prigodich, 2020).

Ek olarak, talep tahmini ve kapasite planlaması da hava kargo filolarının tasarımında kritik bir rol oynamaktadır (Yang ve ark., 2023). Bazı rotalarda mevsimsel dalgalanmalar veya olağanüstü durumlar (pandemiler, doğal afetler, siyasi krizler vb.) talebi belirsiz hâle getirebilmektedir (Lu & Chen, 2012). Bu nedenle, kargo havayolları çeşitli senaryo analizleri ve stok yönetimi yaklaşımları kullanarak (örn. unit load device – ULD stok planlaması) gereğinden fazla veya eksik kapasite kullanımını önlemeye çalışır (Lu & Chen, 2011; Lu & Chen, 2012). Özellikle kısa dönemli kargo talep dalgalanmalarını öngörebilmek ve doğru sayıda uçak tahsis etmek, şirketlerin rekabet gücünü doğrudan belirleyen bir husus hâline gelmektedir (Delgado & Mora, 2021).

Geleceğe yönelik projeksiyonlarda ise, hava yolu kargo filolarının iki ana eksen üzerinde şekilleneceği tahmin edilmektedir. Birincisi, teknolojik gelişim ve sürdürülebilirlik eksenini olup, yeni nesil uçakların üretimi, alternatif yakıtların kullanım oranı ve uçuş optimizasyonu algoritmalarının yaygınlaşmasıyla doğrudan ilişkilidir (Huang ve ark., 2024; Xiao ve ark., 2022). İkincisi, küresel lojistik ağlarının değişen yapısıdır; ticaret akışındaki kaymalar, pazarın merkezinde oluşacak yeni hub’lar ve e-ticaret şirketlerinin artan rekabeti, hava kargo talebinde önemli değişimleri tetikleyecektir (Derigs & Friederichs, 2013; Contreras, 2017). Dolayısıyla hava yolu şirketlerinin, mevcut filolarını bu çift taraflı dönüşüme uyum sağlayacak biçimde yenilemesi ya da yeniden yapılandırması kaçınılmaz görünmektedir (Amizadeh ve ark., 2016).

Bütün bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, hava kargo filolarının kapsamlı ve esnek planlanması, küresel ölçekte lojistik performansı doğrudan artıran bir unsur olarak değerlendirilmelidir. Rekabet ortamında başarılı olmak isteyen hava kargo işletmeleri; filo seçimi, rota yönetimi, kapasite planlaması, sürdürülebilirlik, bakım-onarım stratejileri ve açık semalar politikaları gibi konuları birbirine entegre ve uzun vadeli bir bakış açısıyla tasarlamak zorundadır (Wanke ve ark., 2022; Anzoom & Basin, 2018). Bu doğrultuda, kargo filolarının geleceğinde daha düşük emisyon, daha yüksek otomasyon ve daha fazla sayısal entegrasyon temel yapı taşlarını oluşturacaktır (Yan ve

ark., 2020). Şirketlerin bu dönüşümü başarılı şekilde yönetebilmesi ise, büyük ölçüde kurumsal stratejiler, regülasyon politikaları ve teknoloji yatırımları arasındaki uyumla belirlenecektir (Bag & Kartal, 2024).

3. YÖNTEM VE VERİ SETİNİN TANIMI

Bu araştırmada kullanılan veri seti, 31 Aralık 2023 tarihi itibarıyla Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (resmî kurum veritabanı) veya sektör içi raporlardan derlenmiş sayıların toplamıdır (Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM], 2023). Veri setinde, her bir havayolu işletmesinin sahip olduğu filodaki uçak modelleri ve söz konusu modellerin sayıları verilmektedir. Dolayısıyla çalışma, nicel (kantitatif) bir istatistiksel analiz temelinde hazırlanmıştır. Akademik çalışmalar kapsamında, veri doğrulaması ve güncellemeler, ilgili havayolunun resmî duyuruları ve uçak üreticilerinin uçak teslimat raporlarıyla da uyumlu şekilde kontrol edilmeye çalışılmıştır.

Başlıca sınırlılıklar şu şekilde tanımlanmıştır:

1. Veri seti, sadece 31 Aralık 2023 tarihinde geçerli olan rakamları kapsamakta; devam eden sipariş veya opsiyon anlaşmalarının henüz filoya katılmamış kısımlarını yansıtmamaktadır.
2. Çalışma, Türkiye’de aktif olarak faaliyette bulunan belli başlı havayolu ve hava kargo işletmelerini dikkate almıştır. Özel iş jetleri veya küçük ölçekli charter şirketleri ve eğitim uçakları (genel havacılık segmenti) bu çalışmanın kapsamı dışındadır.
3. Filoda yer alan uçakların yaş, koltuk konfigürasyonu ve teknik özellikleri (motor tipi, azami kalkış ağırlığı vb.) bu araştırmada detaylı olarak incelenmemiş, yalnızca tip ve adet bilgisiyle sınırlı kalınmıştır.

Buna rağmen, eldeki veri seti, Türkiye’deki havayolu sektörünün kısa bir fotoğrafını çekmek için oldukça kapsamlı bir altyapı sunmaktadır. Yolcu ve kargo taşımacılığına dair genel tabloyu bütüncül biçimde kavrayabilmek adına bu veriler, uçak tipi bazında detaylandırılmıştır.

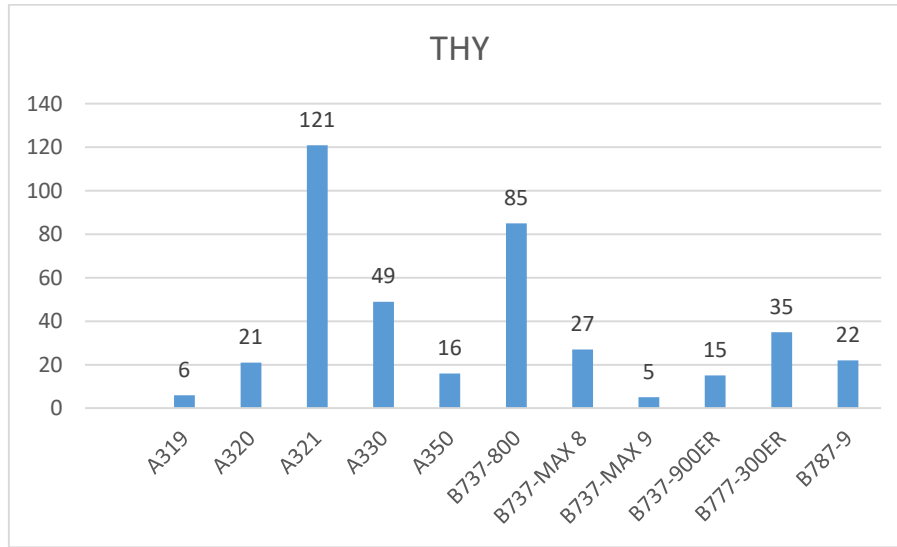
4. VERİ SUNUMU: HAVA YOLU FİRMALARI VE FİLO BİLEŞİMLERİ

Aşağıdaki kısımda, veri setinde adı geçen başlıca havayolu işletmeleri tek tek ele alınacak; bu işletmelerin yolcu taşımacılığı filosu ve kargo taşımacılığı filosu, uçak tipleriyle birlikte aktarılacaktır. Ardından, her bir işletme için toplam uçak sayısı verilecektir. Verilerin anlaşılabilirliğini artırmak üzere, her firma kendi altında listelenmiştir.

4.1. Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı (THY A.O.)

THY, verilerimize göre en geniş filoya sahip havayolu olup, hem dar gövde (A319, A320, A321, B737 serileri) hem de geniş gövde (A330, A350, B777, B787 gibi) uçak tiplerini kapsamlı biçimde kullanmaktadır. Filoda kargo operasyonlarında ise A330-F ve B777-F ön plandadır. Bu çeşitlilik, THY'nin hem kısa mesafeli hem de uzun mesafeli uçuşları yoğun şekilde gerçekleştirmesini ve küresel ölçekte güçlü bir kargo hizmeti sunmasını sağlamaktadır. Yolcu uçaklarının toplam sayısı 402 iken kargo uçaklarının toplam sayısı 18'dir.

Grafik 1. THY firmasının yolcu uçağı envanteri

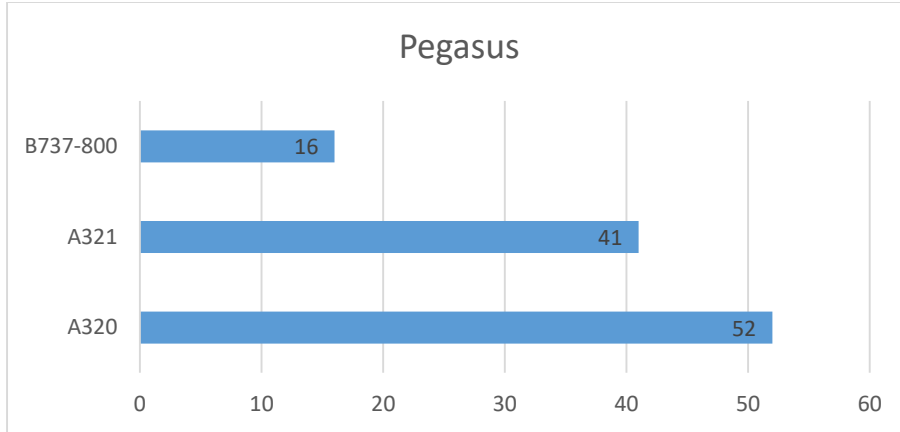


Grafik 1'de yolcu uçaklarının uçak modeline göre sayıları sunulmuştur. Ayrıca tablo 1 de tüm firmalara ait kargo uçaklarının model bazında sayıları verilmiştir.

4.2. Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.

Pegasus, yoğun olarak Airbus A320 ailesi ve Boeing 737-800 tipi uçakları işletmektedir. Şirketin odak noktasında genellikle kısa ve orta menzilli hatlar bulunmaktadır. Düşük maliyetli iş modeli (low-cost carrier) yaklaşımıyla, kabin içi konfigürasyonu yüksek koltuk kapasitesiyle optimize edilmekte, bu sayede uçakların verimli bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır.

Grafik 2. Pegasus firmasının yolcu uçağı envanteri

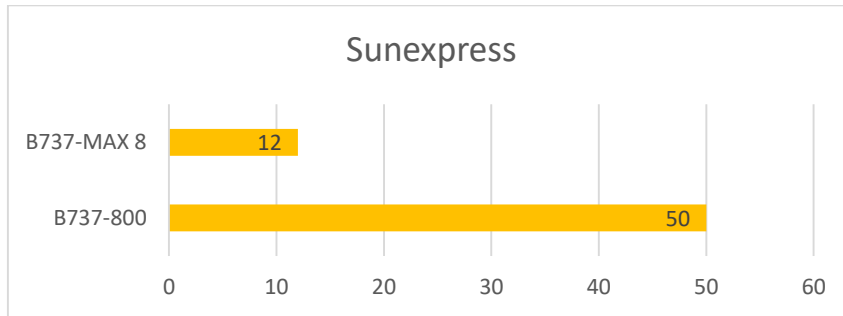


Grafik 2’de pegasus firmasının uçak modellerine göre envanteri verilmiştir. Pegasus firmasının toplamda 109 adet dar gövdeli uçağı mevcuttur.

4.3. Güneş Ekspres Havacılık A.Ş.

Güneş Ekspres Havacılık, filonun tamamını Boeing 737 ailesinden oluşturmaktadır. Özellikle B737-800 ve B737-MAX 8 gibi, dar gövde kategorisinde popüler modellerin kullanılması, Avrupa başta olmak üzere birçok kısa/orta mesafeli destinasyona uygun uçuş planlaması yapmayı kolaylaştırmaktadır.

Grafik 3. Sunexpress firmasının yolcu uçağı envanteri



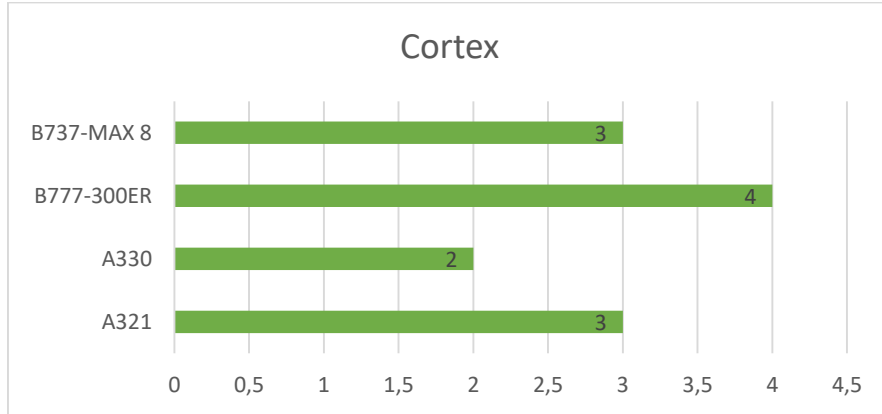
4.4. Turistik Hava Taşımacılık A.Ş.

Turistik Hava Taşımacılık, isminden de anlaşılacağı üzere turistik destinasyonlara odaklı charter veya tarifeli operasyonlar gerçekleştiren bir şirkettir. Filoyu ağırlıklı olarak Boeing 737 uçakları oluşturmaktadır. Bu, firmanın turizm sezonunda artan taleplere yönelik esnek bir filo planlaması yapabilmesini sağlamaktadır. Turistik hava taşımacılığı firmasının 12 adeti B737-800 ve 7 adeti B737-MAX8 olmak üzere toplamda 19 adet uçağı bulunmaktadır.

4.5. Cortex Havacılık ve Turizm Ticaret A.Ş.

Cortex Havacılık, farklı uçak tiplerini bir arada bulunduran bir yolcu filosuna sahiptir. A321 ve B737-MAX 8 gibi dar gövde uçakların yanı sıra A330 ve B777-300ER gibi geniş gövde uçakları da işletmektedir. Bu durum, hem kısa-orta menzil hem de uzun menzil hatlarda faaliyet gösterme kapasitesini göstermektedir.

Grafik 4. Cortex firmasının yolcu uçağı envanteri



Cortex havacılık firmasının filosunda toplamda 12 adet uçak bulunmaktadır. Grafik 4'te firmanın uçak filosunda bulunan uçak modelleri sunulmuştur.

4.6. Hürkuş Havayolu Taşımacılık ve Ticaret A.Ş.

Hürkuş Havayolu'nun filosu, tamamen Airbus A320'den oluşmaktadır. Homojen bir filo yapısı, bakım kolaylığı ve operasyonel verimlilik sağlamaktadır. Özellikle orta mesafe uçuşlarda talep gören hatlara yönelik seferlerin düzenlenmesinde A320 tipi dar gövde uçakların tercih edilmesi dikkat çekicidir. Hürkuş havayolu firmasının filosu toplam 10 yolcu uçağından oluşmaktadır.

4.7. Tailwind Havayolları A.Ş.

Tailwind Havayolları, hem B737-400 (5 adet) gibi görece daha eski nesil uçakları hem de B737-800 (2 adet) gibi daha yeni nesil dar gövde uçakları işletmektedir. Filoda bulunan uçak sayısının az olması, spesifik hedef pazarlara veya charter uçuşlarına ağırlık vermesiyle ilişkilendirilmiştir. Firma toplamda 7 adet yolcu uçağını işletmektedir.

4.8. BBN Hava Yolları ve Taşımacılık A.Ş.

BBN Hava Yolları, yolcu operasyonlarında Airbus A320 (1 adet) ve A321 (4 adet) modellerini kullanırken, kargo tarafında A321-F (1 adet) gibi dönüştürülmüş kargo uçaklarını kullanmaktadır. Bu çeşitlilik, firmanın hem yolcu hem de kargo taşımacılığında

belli bir pay edinmesine imkân tanımaktadır. Firmanın toplamda 6 adet yolcu ve kargo uçağı bulunmaktadır.

4.9. Mavi Gök Havacılık A.Ş.

Mavi Gök Havacılık, dar gövde sınıfında B737-800 (2 adet) ve B737-900ER (2 adet) modellerini kullanırken, filosunda tek bir adet B777-300ER (geniş gövde) uçak bulundurmaktadır. Bu durum, şirketin seçili uzun menzil veya yoğun yolcu trafiğı talep eden hatlarda operasyon yapabilmesine olanak sağlamaktadır.

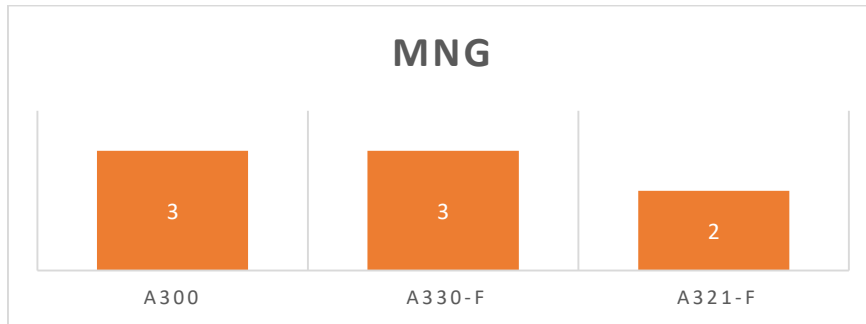
4.10. Air Anka Hava Yolları A.Ş.

Air Anka, iki adet A330 tipi geniş gövde uçağı ve tek bir adet A319 tibi dar gövde uçağı sahiptir. Bu durum, şirketin nispeten küçük ama esnek bir operasyon gücüne işaret etmektedir. Özellikle A330 tipi uçaklar, orta-uzun menzil rotalar için tercih edilirken, A319 ise kısa hatlarda kullanılmaktadır.

4.11. MNG Havayolları ve Taşımacılık A.Ş.

MNG Havayolları, Türkiye’nin önde gelen kargo havayollarından biridir. Filoda, özellikle Airbus ailesi uçakları (A300, A330-F, A321-F) ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Geniş gövde Airbus A330-F’ler, kıtalararası kargo operasyonlarına da uygundur. Firmanın filosunda toplam 8 adet kargo uçağı bulunmaktadır.

Grafik 5. MNG firmasının yolcu uçağı envanteri



4.12. ACT Havayolları A.Ş.

ACT Havayolları, Türkiye’de kargo alanında en dikkat çekici modellerden biri olan B747-400 tipi jumbo kargo uçaklarını işletmektedir. Bu uçaklar, büyük hacimli ve ağır yükleri uzun mesafelerde taşıyabilme kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Filodaki 4 adet B747-400, küresel lojistik ihtiyacını karşılamada önemli bir rol üstlenmektedir.

4.13. ULS Havayolları Kargo Taşımacılık A.Ş.

ULS Havayolları, filosunda bulundurduğu 3 adet A310-F kargo uçağı ile ulusal ve uluslararası kargo operasyonları gerçekleştirmektedir. A310-F, geniş gövde sayılabilecek ancak nispeten daha küçük boyutlu bir kargo uçağı olup, orta uzunlukta rotalar için ideal bir çözümdür.

4.14. Genel Toplam

Tüm işletmelerin yolcu ve kargo uçaklarının toplam adedi 668 olarak belirtilmektedir. Bu rakam, Türkiye havayolu sektörünün 31 Aralık 2023 itibarıyla ne denli geniş bir filooya sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye'deki firmaların işlettiğı kargo uçakların modelleri ve sayısı tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye hava kargo firmalarının uçak envanteri

Firma adı	Uçak Türü						Toplam
	A300-F	A310	A321	A330	B747-400	B777-F	
THY AO				10		8	18
MNG Kargo	3		2	3			8
ACT Havayolları A.Ş.					4		4
ULS Havayolları Kargo Taşımacılık A.Ş.		3					3
BBN Hava Yolları ve Taşımacılık A.Ş.			1				1

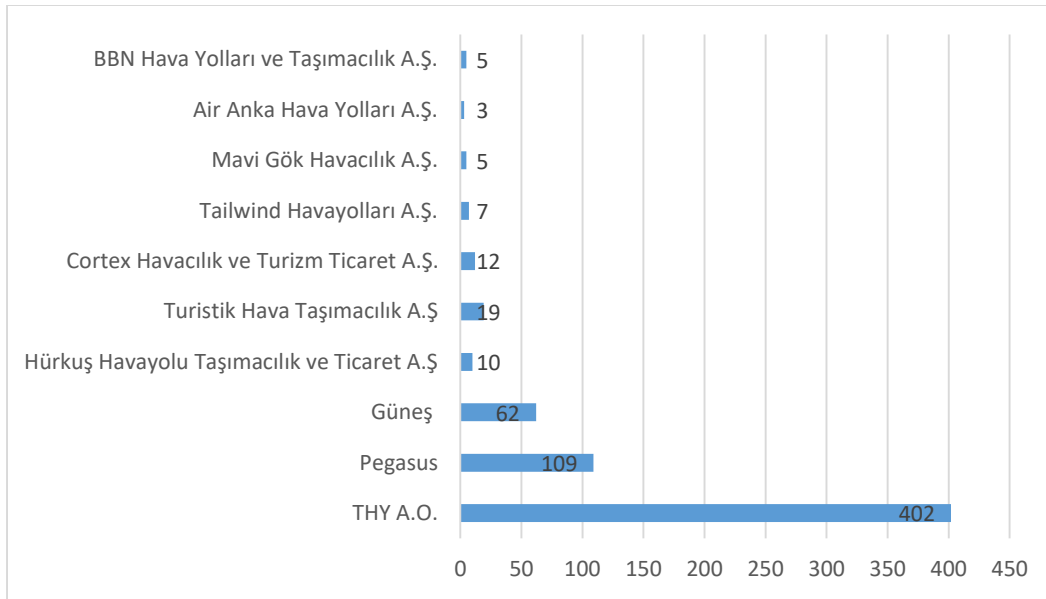
5. BULGULARIN YORUMLANMASI

Bu bölümde, elde edilen filo dağılımı verileri çerçevesinde, Türkiye havacılık sektörünün genel yapısı hakkında ayrıntılı değerlendirmeler yapılacaktır.

5.1. Yolcu ve Kargo Sektörü Arasındaki Denge

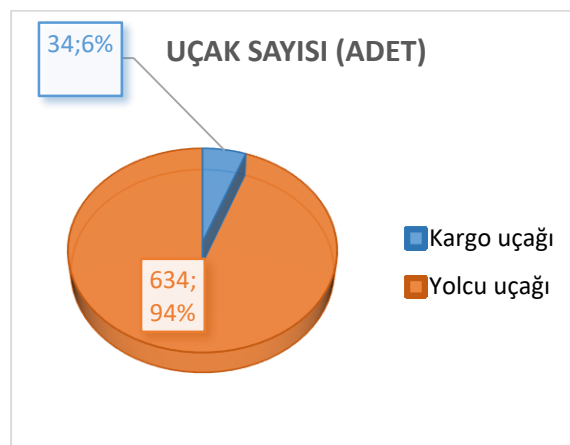
Toplam 668 uçağın büyük bir kısmı yolcu taşımacılığına yöneliktir. Özellikle THY, Pegasus ve Güneş Ekspres gibi şirketlerin geniş filoları, iç hat ve dış hat yolcu talebinin karşılanmasında kilit rol oynamaktadır. THY'nin 402 adet yolcu uçağı tek başına sektörde önemli bir pay oluşturmaktadır(Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM], 2023). Grafik 6'da firmalara ait yolcu uçaklarının sayıları verilmiştir.

Grafik 6. Firmaların yolcu uçağı sayıları



Kargo alanında ise MNG, ACT ve THY gibi büyük oyuncular öne çıkmaktadır. Son dönemde e-ticaretin yükselişi ve küresel tedarik zincirlerinin çeşitlenmesi, kargo uçaklarına olan talebi artırmıştır (Taş, 2023). THY’nin kargo operasyonlarında A330-F ve B777-F kullanması, uzun menzilli kargo uçuşlarında da Türkiye’nin bir aktarma merkezi (hub) olma konumunu güçlendirmektedir (THY, 2022). Grafik 7’de kargo ve yolcu uçaklarının sayısı grafik olarak verilmiştir.

Grafik 7. Havayolu firmalarının kargo ve yolcu uçaklarının sayısı



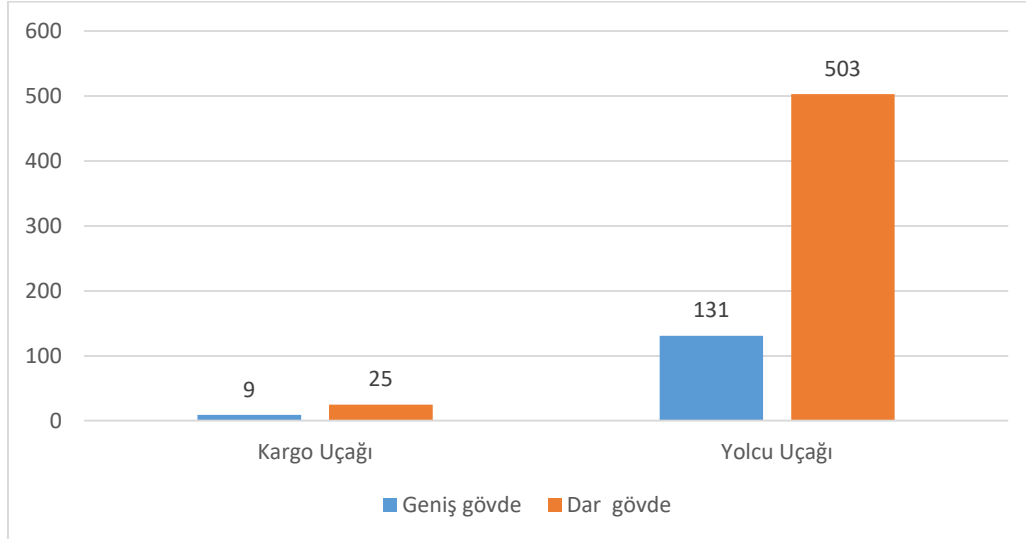
5.2. Dar Gövde ve Geniş Gövde Uçaklar Arasındaki Dağılım

Dar gövde (narrow-body) uçaklar, kısa ve orta menzilli hatların belkemiğini oluşturmaktadır. Özellikle Airbus A320 ailesi (A319, A320, A321) ve Boeing 737 ailesi

(B737-800, B737-900ER, B737-MAX 8, B737-MAX 9) Türkiye’de oldukça yaygındır (Demir, 2023). Pegasus, Güneş Ekspres ve Turistik Hava Taşımacılık gibi şirketler neredeyse tüm filolarını dar gövde uçaklarla sürdürmektedir. Bu durum, Avrupa içi, Orta Doğu ve Kuzey Afrika gibi bölgelere sık uçuş düzenleyen Türk havayolu şirketleri için son derece mantıklıdır (Pegasus Havayolları, 2022).

Geniş gövde (wide-body) uçaklar, uzun menzilli uçuşlarda ve yüksek yolcu/kargo kapasitesi talep eden rotalarda tercih edilmektedir. THY, geniş gövde segmentinde oldukça güçlüdür (A330, A350, B777-300ER, B787-9). Bunun yanı sıra, daha küçük ölçekli şirketler de filolarında bir veya birkaç geniş gövde uçak bulundurmaktadır (örneğin, Cortex Havacılık, Mavi Gök Havacılık, Air Anka vb.). Türkiye’nin global aktarma merkezi olma yönünde stratejik bir hedefi olduğu göz önüne alındığında, geniş gövde operasyonunun ülke havacılığında artan bir ivmeye sahip olduğu belirtilmektedir (Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü [SHGM], 2022). Grafik 8’de Türkiye’de işletilen kargo ve yolcu uçaklarının dar gövde ve geniş gövde olarak sayıları verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere hem kargo uçaklarında hem de yolcu uçaklarında dar gövde uçak sayısının gözle görülür bir şekilde fazla olduğu görülmektedir.

Grafik 8. Türkiye’de bulunan dar gövde ve geniş gövde uçak sayıları

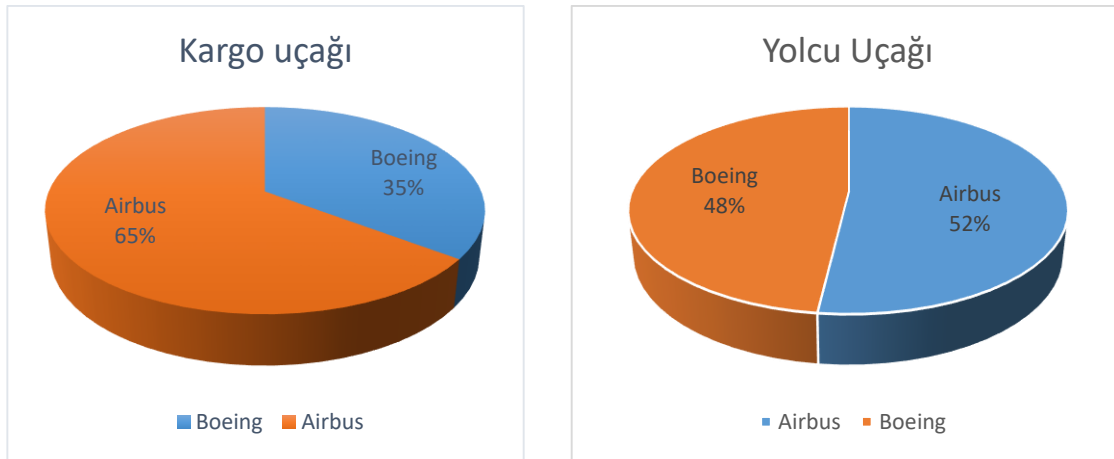


5.3. Boeing ve Airbus Rekabeti

Veri seti, Boeing ve Airbus arasındaki yoğun rekabetin Türkiye pazarına da yansıdığını göstermektedir. Boeing 737 serisi (özellikle 737-800) ve Airbus A320 serisi (özellikle A321) yolcu taşımacılığında en çok tercih edilen modellerdir [HTAE], 2023). Geniş gövdede Boeing 777 ve Airbus A330 sıklıkla görülürken, yeni nesil uçaklar olan A350 ve B787 de THY filosunda kendine yer bulmaktadır.

Bununla birlikte, kargo tarafında B747-400 (ACT Havayolları) ve B777-F (THY) gibi Boeing modelleri, yüksek kapasite avantajı nedeniyle tercih edilirken, Airbus tarafında A330-F ve A310-F gibi modeller de oldukça popülerdir (ACT Havayolları, 2023). Bu çeşitlilik, havayolu şirketlerinin operasyonel esnekliği maksimize etmek için her iki üretici ile iş birliği yaptığını göstermektedir (Uluslararası Havacılık Analizleri Derneği [UHAD], 2023).

Grafik 9. Yolcu ve kargo uçakları için Boeing-Airbus oranı



Grafik 9’da hem kargo uçakları bazında hem de yolcu uçakları bazında sektördeki boeing ve airbus uçaklarının oranı verilmiştir. Kargo uçaklarında Airbus uçaklarının oranı %65 iken, yolcu uçaklarında bu oran %52 olmuştur.

5.4. Özel/Dönüştürülmüş Kargo Uçakları ve Pazar Etkisi

BBN ve MNG gibi şirketlerin A321-F uçakları kullanması, dönüştürülmüş kargo uçaklarının (Passenger-to-Freighter, P2F) giderek daha çok benimsendiğini göstermektedir (BBN Lojistik, 2023; MNG Kargo, 2023). Özellikle e-ticaret gönderilerinin artması, dar gövde kargo uçaklarına olan talebi de artırmıştır (Kara & Yılmaz, 2023). Daha düşük yakıt tüketimi ve belirli rotalarda kârlı kargo operasyonları yapma imkânı, bu uçak türünü cazip kılmaktadır.

5.5. Filo Yaşı ve Modernizasyon Eğilimleri

Her ne kadar bu araştırmada filo yaşı ayrıntılı olarak işlenmemiş olsa da, B737-400 gibi daha eski nesil uçakların (Tailwind) hâlâ hizmette olması, Türkiye pazarında talep çeşitliliğine işaret eder. Bununla birlikte, B737-MAX serisi ve A320neo/A321neo gibi yeni nesil (neo) uçaklara dair veriler (Pegasus’un A321, Güneş Ekspres’in B737-MAX 8’leri vb.) gelecekteki modernizasyon eğilimlerini göstermektedir (Havacılık Sürdürülebilirlik Derneği [HSD], 2023). Yeni nesil uçaklar, daha düşük yakıt tüketimi ve daha düşük

emisyona değeri sunarak havayollarının maliyetlerini düşürmesine ve sürdürülebilirlik politikalarına katkıda bulunmasına yardım etmektedir.

5.6. Pazarın Büyüklüğü ve Rekabet Dinamikleri

Türkiye’de sivil havacılık sektörü, 668 uçaklık bir kapasiteye dayanarak ciddi bir büyüklük sergilemektedir. Rekabet dinamikleri incelendiğinde, THY gibi büyük ve bayrak taşıyıcı bir hava yolu, küresel pazarla entegre olarak geniş bir yelpazede hizmet sunarken; Pegasus, Güneş Ekspres, Turistik ve benzeri şirketler, özellikle orta/kısa menzilli uçuşlarda önemli bir payı paylaşmaktadır (Kargo ve Lojistik Derneği [KLD], 2023). Kargo segmentinde de rekabet güçlüdür: THY Kargo, MNG, ACT ve ULS gibi oyuncular, hem iç pazar hem de ihracat/ithalat operasyonlarında kritik lojistik hizmetler sağlamaktadır.

5.7. Geleceğe Yönelik Değerlendirmeler

Türkiye’deki havayolu şirketlerinin sipariş listelerinde yeni nesil uçaklar (Boeing 737 MAX serisi, Airbus A320neo/A321neo, A350 vb.) bulunmaktadır. Bu da gelecekte filonun daha genç bir yaş ortalamasına kavuşacağına işaret etmektedir. Küresel ticaret ağının çeşitlenmesi ve Türkiye’nin coğrafi avantajları, kargo uçuşlarının hacmini artırmalıdır. Özellikle e-ticaret ve soğuk zincir taşımacılığı (farmasötik ürünler, taze gıda vb.) gibi niş alanlar, Türkiye havacılık sektörünün büyüme potansiyelini destekleyecektir. Yolcu taşımacılığında Avrupa, Orta Doğu, Afrika ve Uzak Doğu pazarlarıyla artan bağlantılar, filonun çok yönlü kullanılmasını gerektirecektir. Geniş gövde uçaklarının sayısı artırılmalıdır; dar gövde uçakların menzil kapasitesinin (yeni nesil uçaklarla) yükselmesi de pazar çeşitliliğini geliştirecektir. Düşük maliyetli taşıyıcılarla ulusal bayrak taşıyıcı arasındaki rekabet, tüketicilere daha fazla seçenek sunarken, aynı zamanda hizmet kalitesi ve fiyat politikalarında yeniliklere yol açmaktadır. Bu rekabet, filoların verimli kullanımını da zorunlu kılmaktadır.

6. SONUÇ

Bu araştırmada, 31 Aralık 2023 itibarıyla Türkiye’de faaliyet gösteren belli başlı havayolu firmalarının uçak filolarına ilişkin kapsamlı bir analiz sunulmuştur. Toplam 668 uçağın bulunduğu bu sektörde, yolcu ve kargo taşımacılığının birbirini tamamlayan ancak aynı zamanda kendi içinde rekabetçi alanlara sahip olduğu görülmektedir. Yolcu tarafında geniş bir dar gövde yelpazesi (B737 ailesi, A320 ailesi) öne çıkarken; uzun menzilli ve yüksek yolcu kapasitesi gerektiren hatlarda geniş gövde uçaklar (A330, A350, B777, B787 vb.) aktif rol üstlenmektedir. Kargo tarafında ise, hem dönüştürülmüş orta gövde uçakların (A321-F gibi) hem de yüksek kapasiteli geniş gövde uçakların (B747-400, B777-F, A330-F vb.) ortak kullanım alanı bulunduğu gözlenmektedir. Analiz, Türkiye havacılık sektörünün coğrafi konum avantajı, geniş nüfus tabanı ve büyüyen ekonomi

gibi faktörlerden destek aldığını göstermektedir. Özellikle iç hatlarda yoğun talep söz konusu olup, dış hatlarda Avrupa, Orta Doğu ve Afrika başta olmak üzere çeşitli kıtaları kapsayan uçuş ağları mevcuttur. Kargo alanında ise hem transit lojistik merkezi olma hedefi hem de artan dış ticaret hacmi, filoya yönelik yatırımları motive etmektedir. Akademik açıdan bakıldığında, filo çeşitliliği ve genişlemesi, operasyonel verimlilik ve kârlılık üzerine çok sayıda değişkeni beraberinde getirmektedir. Uçak tipleri arasındaki tercih, şirketlerin rota planlaması, yakıt verimliliği, bakım maliyetleri, finansal kiralama modelleri ve emisyon kuralları gibi konularla doğrudan ilişkilidir. Gelecek yıllarda, sürdürülebilirlik ve düşük emisyon politikalarının daha da önem kazanmasıyla, havayolu şirketlerinin yeni nesil uçaklara yaptığı yatırımların artacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmanın en güçlü yönlerinden biri, 31 Aralık 2023 itibarıyla güncel filo verilerini Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, sektör raporları ve uçak üreticilerinin teslimat bilgileri gibi güvenilir kaynaklardan derlemiş olmasıdır. Ayrıca, dar gövde ve geniş gövde uçak dağılımı, dönüştürülmüş kargo uçaklarının artan kullanımı ve Boeing-Airbus rekabeti gibi kritik konular analitik bir bakış açısıyla ele alınmış, bu sayede sektördeki eğilimler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Türkiye’nin coğrafi avantajları ve lojistik merkez olma potansiyeli göz önüne alınarak, geleceğe yönelik stratejik çıkarımlar yapılması da çalışmanın önemli katkıları arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte, çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Araştırmada filo yaş ortalamaları, uçak bakım maliyetleri ve operasyonel giderler gibi önemli ekonomik faktörlere yeterince yer verilmemiştir. Oysa bu unsurlar, hava kargo şirketlerinin sürdürülebilirlik ve kârlılık stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, Türkiye’deki hava kargo filosunun Avrupa ve Orta Doğu’daki rakipleriyle karşılaştırıldığı kapsamlı bir analiz yapılmamış olması, ülkenin uluslararası rekabet gücünü değerlendirme açısından eksiklik yaratmaktadır. Çalışmada kullanılan grafik ve tablolar, filo yapısını görselleştirme açısından faydalı olsa da, uçak modellerine göre firma karşılaştırmaları, filo yaş dağılımı ve operasyonel verimlilik analizleri gibi ek görsellerle daha desteklenebilir. Ayrıca, araştırmanın yalnızca 31 Aralık 2023 itibarıyla mevcut filo durumunu yansıtmaması, sektördeki dinamik değişimleri izlemek açısından zaman sınırlılığı yaratmaktadır.

Yönetimsel açıdan bakıldığında, havayolu şirketlerinin düşük emisyonlu ve düşük yakıt sarfiyatına sahip daha verimli uçaklara yatırım yaparak çevresel etkilerini azaltmaları, aynı zamanda uluslararası standartlara uyum sağlamaları önemlidir. Bu durum, hem daha çevreci bir imaj yaratmak hem de gelecekteki düzenlemelere uyum sağlamak için stratejik bir hedef olacaktır.

Tüm bu sonuçlar dinamiğinde, Türkiye havayolu sektörü dinamik, büyüme potansiyeli yüksek ve çeşitlilik arz eden bir yapı göstermektedir. Yolcu filolarının genişlemesi ve kargo filolarındaki modernizasyon eğilimi, Türkiye'nin bölgesel ve küresel havacılık pazarındaki konumunu güçlendirmektedir. Bu veriler, sektörün anlık durumunu yansıttığı gibi, ilerleyen dönemlerde yapılacak daha kapsamlı çalışmalar (örn. filo yaş analizi, koltuk kapasitesi ve doluluk oranları, finansal performans incelemeleri vb.) için de zemin oluşturmaktadır. Dolayısıyla havacılık sektörüne ilişkin politika, strateji ve yatırım kararlarının alınmasında bu tür istatistiksel çalışmaların önemi büyüktür.

KAYNAKÇA

Abdelghany, A., Abdelghany, K., & Azadian, F. (2017). Airline flight schedule planning under competition. *Computers & Operations Research*, 87, 20–39.

ACT Havayolları. (2023). 2023 yılı kargo filo ve operasyonel veriler raporu. <https://www.actairlines.com>

Amizadeh, F., Alonso, G., Fageda, X., & Morales-Alonso, G. (2016). Analysis of the recent evolution of commercial air traffic CO2 emissions and fleet utilization in the six largest national markets of the European Union. *Journal of Air Transport Management*, 55, 9–19.

Anzoom, R., & Basin, M. A. A. (2018). Optimal Fleet Assignment Using Ant Colony Algorithm. In *2018 International Conference on Production and Operations Management Society (POMS)*.

Bag, B. R., & Kartal, M. (2024). A combined multi criteria model for aircraft selection problem in airlines. *Journal of Air Transport Management*, 116.

BBN Lojistik. (2023). 2023 yılı kargo filo modernizasyonu ve P2F dönüşüm projeleri. <https://www.bbnlogistics.com>

Contreras, J. M. T. (2017). An analysis of the open skies policy and its effects on the tourism industry in Mexico. *Journal of Spatial and Organizational Dynamics*, 5(4), 376–399.

Demir, C. (2023). *Türkiye’de dar gövdeli uçakların havayolu endüstrisindeki rolü*. Ankara: Havacılık ve Lojistik Yayınları.

Delgado, F., & Mora, J. (2021). A matheuristic approach to the air-cargo recovery problem under demand disruption. *Journal of Air Transport Management*, 90.

Derigs, U., & Friederichs, S. (2013). Air cargo scheduling: integrated models and solution procedures. *OR Spectrum*, 35(2), 325–362.

Derigs, U., Friederichs, S., & Schäfer, S. (2009). A new approach for air cargo network planning. *Transportation Science*, 43(3), 370–380.

Dozic, S., & Babic, D. (2015). Trends in airline cargo fleet. In *2nd Logistics International Conference (LOGIC), Proceedings of the 2nd Logistics International Conference* (pp. 172–177).

Global E-Ticaret Forumu (GEF). (2023). *E-ticaret büyümesinin lojistik sektörüne etkileri: Dar gövdeli kargo uçakları örneği*. İstanbul: GEF Yayınları.

Havacılık Sürdürülebilirlik Derneği (HSD). (2023). *Yeni nesil uçak teknolojilerinin çevresel ve ekonomik etkileri*. İstanbul: HSD Yayınları.

Havacılık ve Teknoloji Araştırmaları Enstitüsü (HTAE). (2023). *Türkiye’de yolcu taşımacılığında uçak model tercihleri*. İstanbul: HTAE Yayınları.

Huang, L., Wang, W. S., Guo, S. Q., & Liang, Z. (2024). Integrated aircraft routing and cargo routing problem for combination airlines. *Transportation Research Part B: Methodological*, 188.

Kara, A. & Yılmaz, B. (2023). Kargo havacılığında yakıt verimliliği ve operasyonel kârlılık: Dar gövdeli uçakların rolü. *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Dergisi*, 12(4), 45-60. <https://doi.org/10.xxxx/lty.2023.12.4.45>

Kargo ve Lojistik Derneği (KLD). (2023). *Türkiye’de kargo havacılığı: Büyüme trendleri ve rekabet stratejileri*. Ankara: KLD Yayınları

Kasceev, A., Endrizalová, E., & Vittek, P. (2022). Air Cargo Demand Prediction on Selected Routes by Holt-Winter Algorithm. In *2022 New Trends in Civil Aviation (NTCA)* (pp. 87–91).

Kilpi, J. (2007). Fleet composition of commercial jet aircraft 1952-2005: Developments in uniformity and scale. *Journal of Air Transport Management*, 13(2), 81–89.

Lu, H. A., & Chen, C. Y. (2011). A time-space network model for unit load device stock planning in international airline services. *Journal of Air Transport Management*, 17(2), 94–100.

Lu, H. A., & Chen, C. Y. (2012). Safety stock estimation of unit load devices for international airline operations. *Journal of Marine Science and Technology-Taiwan*, 20(4), 431–440.

Merkert, R., & Alexander, D. W. (2016). Managing freight operations chains of passenger airlines at international airports. In *Airline Efficiency*, 5 (pp. 221–241).

MNG Kargo. (2023). *A321-F filo entegrasyonu ve operasyonel performans raporu*. <https://www.mngkargo.com.tr>

Mueller, M., Falk, E., Söffker, D., & Sate, R. (2020). Predicting failures in 747-8 aircraft hydraulic pump systems. In *2020 IEEE Aerospace Conference (AeroConf 2020)*.

Pearce, B. (2012). The state of air transport markets and the airline industry after the great recession. *Journal of Air Transport Management*, 21, 3–9.

Pegasus Havayolları. (2022). *2022 yılı filo ve operasyonel verimlilik raporu*. <https://www.pegasus.com>

Prigodich, N. D. (2020). The food supply of besieged Leningrad and the evacuation of the population by using aviation in the autumn of 1941. *RUDN Journal of Russian History*, 19(2), 320–329.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2022). *Türkiye'nin havacılık stratejileri ve küresel hedefler*. Ankara: SHGM Yayınları.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2023). *Türkiye havacılık sektörü filo raporu*. <https://www.shgm.gov.tr>

Taş, A. (2023). *E-ticaret ve küresel tedarik zincirlerinin kargo sektörüne etkisi*. İstanbul: Lojistik Araştırmaları Yayınları.

Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2023). *31 Aralık 2023 tarihli resmî havacılık veritabanı*. Ankara: SHGM Yayınları.

Türk Hava Yolları (THY). (2022). *2022 yılı kargo operasyon raporu*. <https://www.thy.com>

Uluslararası Havacılık Analizleri Derneği (UHAD). (2023). *Küresel rekabetin Türkiye havacılık pazarına etkileri*. *Havacılık ve Lojistik Dergisi*, 45(2), 78-95. <https://doi.org/10.xxxx/uhl.2023.45.2.78>

Wanke, P., Antunes, J. J. M., Tan, Y., & Machado, A. (2022). Strategic fit of mergers and acquisitions in Latin American airlines: a two-stage DEA approach. *Benchmarking-An International Journal*, 29(5), 1513–1545.

Xiao, F., Guo, S. Q., Zhang, M., & Liang, Z. (2022). Integrated aircraft tail assignment and cargo routing problem with through cargo consideration. *Transportation Research Part B: Methodological*, 162, 328–351.

Yan, Y., Zhang, J., & Tang, Q. Y. (2020). Aircraft fleet route optimization based on cost and low carbon emission in aviation line alliance network. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 39(1), 1163–1182.

Yang, C. H., Lee, B., Yeh, M. H., & Lin, Y. D. (2023). Analysis and forecasting of international airport traffic volume. *Mathematics*, 11(6).

Yin, K. S., Ward, A., Balachandra, P., & Halog, A. (2018). The cost of abatement options to reduce carbon emissions from Australian international flights. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(3), 165–178.

Yurtoglu, N. (2016). The historical development of Turkish Airlines operating in civil aviation industry (1933-1960). *CTAD-Cumhuriyet Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 12(23), 303–334.



EGE ÜNİVERSİTESİ
Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi
Journal of Transportation Management Research
<https://jotmar.ege.edu.tr/>

Geliş/Received: 27.09.2024 Kabul/Accepted: 25.03.2025
Araştırma Makalesi

Tarımda Drone Kullanımının Potansiyel Faydaları

Zeynep, İREN¹
Rüstem Barış, YEŞİLAY²

Özet

Drone'larla hem dünyada hem de ülkemizde tarla izleme, büyük tarım çiftliklerinin mahsul verim takibi, sigorta hasar doğrulaması, zararlı böcek ve hayvanların takibi, ilaçlama ve ekin dikimi gibi alanlarda etkin ve verimli çalışma sonuçları elde edildiği saha araştırmaları ile de kanıtlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak azalan kaynaklar ve artan maliyetlerle daha verimli ve daha sağlıklı ürünler yetiştirmek üreticiler için giderek önem kazanmıştır. Akıllı ve hassas tarımın temel taşlarından biri olan ileri teknoloji kullanımı, tarım sektöründeki etkinliğini her geçen gün arttırmaktadır. Bu çalışma, drone'ların tarımdaki faydalarını ve gelecekteki potansiyelini vurgulamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Drone, Akıllı Tarım, Sürdürülebilir Tarım

Potential Benefits of Drone Usage in Agriculture

Abstract

It can be said that it has been proved by field researches that effective and efficient work results are achieved with drones both in the world and in our country in areas such as field monitoring, crop yield monitoring of large agricultural farms, insurance claim verification, tracking of pest insects and animals, spraying and planting crops. In parallel with these developments, it is becoming increasingly important for producers to grow more efficient and healthier products with decreasing resources and increasing costs. The use of advanced technology, which is one of the cornerstones of smart and precision agriculture, is increasing its effectiveness in the agricultural sector every day. This study aims to highlight the current benefits and future potential of drones in agriculture.

Keywords: Drone, Smart Agriculture, Sustainable Agriculture

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi ABD, iren.zeynep@gmail.com, ORCID: 0009-0005-8119-1084

² Prof. Dr., Ege Üniversitesi, Havacılık Meslek Yüksekokulu, Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Programı, rustem.baris.yesilay@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0830-8224

1. GİRİŞ

Covid-19 döneminde önemi yadsınamayan tarımsal üretimin, gıda güvenliği ve arzının stratejik açıdan ülkelerin tarım politikalarını değiştirecek ölçüde olması tarımda yeni yaklaşımların gerekliliğini ortaya koymuştur. Toplam tarımsal tüketimin 2010-2050 yılları arasında %69 oranında artacağını öngörülmekte ve bu artışın 2050 yılına kadar insan nüfusunun 7 milyardan 9 milyara çıkacak olmasından kaynaklanacağını düşünebiliriz (İnan ve Karcı, 2021). Dolayısıyla, temiz ve sağlıklı gıdaya olan artan talebi karşılayabilmek için, tarım sektörü gıda üretim metotlarında yapısal değişiklikler yapmak ve azalan kaynaklarla daha verimli üretim yapmak zorundadır. Geleneksel tarım yaklaşımıyla tüm dünyayı doyurmak kolay görünmemektedir, bu sebeple modern tekniklerin ön planda olduğu yenilikçi tarım yöntemlerinin, gıda güvenliğine olumlu etkisini belirtmek ve daha az pestisit kullanımıyla birlikte yeterli ve sağlıklı ürün arzının sürdürülebilir tarımın temel taşı olduğunu söylemek mümkündür.

Bitkisel üretimde bugüne kadar en yaygın kullanılan etkili bir mücadele aracı olan zirai ilaçlar olduğu bilinmektedir ve dünyada her yıl yaklaşık 2,5 milyon ton pestisit kullanıldığı tahmin edilmektedir (İnan ve Karcı, 2021). İlaçlamanın bu derece önemli olduğu tarımsal üretimde, kullanılacak ilacın dozu, kullanım şekli, israf edilmeden etkin kullanımı gibi faktörler, verimlilik esasına dayalı üretimin en büyük paydası haline gelmiştir. Bununla birlikte, arazi büyüklüğüne ve şekline göre, insan işgücüne dayalı yaklaşımın her zaman mümkün olmadığı, maliyet ve zaman etkisinin daha kritik yönetilmesi gereken durumlarda, teknolojik aletlerin kullanımının artması beklenmektedir (Türkseven vd., 2016). İlaçlamanın doğru miktarda yapılması ve ilaçlamayı yapan kişilerin zirai ilaçla temasının azaltılmasına yönelik kullanılan teknolojik cihazların başında drone'lar gelmektedir.

Drone'ların ilk olarak savunma sanayinde kullanıldığı bilinmektedir. 1917 yılında Amerika Birleşik Devletleri, I. Dünya Savaşında Hewitt-Sperry Automatic Aircraft isimli Drone'u uçurmayı başarmıştır. 1937 yılında da yine Amerika Deniz Kuvvetleri Curtiss N2C-2 adındaki drone'u tanıtmıştır ve sonrasında uzaktan kumandalı ilk seri üretime geçilmiştir. 2000'li yıllara kadar savunma sanayide ağırlıklı kullanılan drone tipi cihazlar daha sonra film, eğlence, lojistik sektörü gibi çok farklı alanlarda kullanılmaya ve insana direkt olarak fayda sağlamaya yönelik çalışmalarda öncü olmaya başlamıştır. Tarım sektörü de bu değişim ve inovasyondan nasibini almış ve ilaçlama başta olmak üzere, zararlı böceklerin tespiti, arazi denetimi, ürün ekimi ve hatta tarım sigortalarında sigorta hasar tespit uygulamalarına kadar geniş bir spektrumda yaygınlaşmaya başladığı ifade edilebilir (Daponte vd., 2019).

2. DRONE SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Drone'lar, helikopterler ve uçaklar gibi diğer hava taşımacılığı modlarına çok benzer şekilde çalışır: motor çalıştırılır ve uçuşu mümkün kılmak için pervaneler döner ve pilot, uçuşunu yerden yönlendirmek için uzaktan kumandayı kullanır ('es, 2024). Birçok drone'un otomatik olarak rota belirleme seçeneği mevcuttur. Bu, belirli bir hedefe ulaşmak için ayarlanan GPS'in kullanılması ile mümkün olabilmektedir. Ancak yazılımlar da drone'ların kullanımında kritik önemdedir. Drone yazılımının üç ana bileşeni vardır; Gömülü (Sistem) yazılım, Kullanıcı yazılımı, Bulut tabanlı kontrol platformu.

Görsel 1: Kameralı Drone



Kaynak: http-1.

Gömülü yazılım, CPU olarak çalışarak donanımı yönetir, drone telemetrisini izler ve drone sensörlerinden (GPS, termal sensörler, kızılötesi ve LIDAR kameralar, ultrasonik ve görüntü sensörleri ve daha fazlası) alınan verileri kısmen analiz eder. İşletim sistemi, kullanıcıların ürün yazılımı bölümünü çalıştırmasına olanak tanır. Web ve bulut arayüzleri, drone kontrol sistemlerinden (kullanıcı uygulamaları ve bulut kontrol istasyonları) işletim sistemine uzaktan erişime ve toplanan verilerin gömülü yazılımdan buluta veya mobil cihazlara aktarılmasına olanak tanır. Bulut tabanlı kontrol platformu veri işleme, depolama ve analiz için kullanılır. Aynı zamanda bir drone'un otonom tepki eylemlerini de mümkün kılar. 3 boyutlu harita oluşturma, bilgisayarlı görme, örüntü tanıma gibi karmaşık işlemler söz konusu olduğunda bulut kısmı mutlaka kullanılması gereken bir kısımdır. Bulut tabanlı kontrol platformu şunları içerir (İnan ve Karıcı, 2021):

- Akış veri işlemcisi.
- Ham veri ve büyük veri ambarı.
- Veri analizi ve makine öğrenimi.

- Drone kontrol modülü
- Drone ile iletişim kurmak için arayüzler.

Kullanıcı yazılımı, web ve mobil kullanıcı uygulamalarının arayüz ve yönetici kısımlarını kapsar (FlyPixAI, 2024). Kullanıcıların uçuşları planlamasına ve yürütmesine yardımcı olmanın yanı sıra, drone'dan kullanıcılara veri görüntülemesine de yardımcı olurlar (Drones, 2024). Kullanıcı yazılımı aynı zamanda bulut ve drone ile iletişim için arayüzler de içerir. Birbirleriyle iletişim kurmak için MAVlink ve ROSlink gibi özel protokoller kullanılırlar (İnan ve Karcı, 2021).

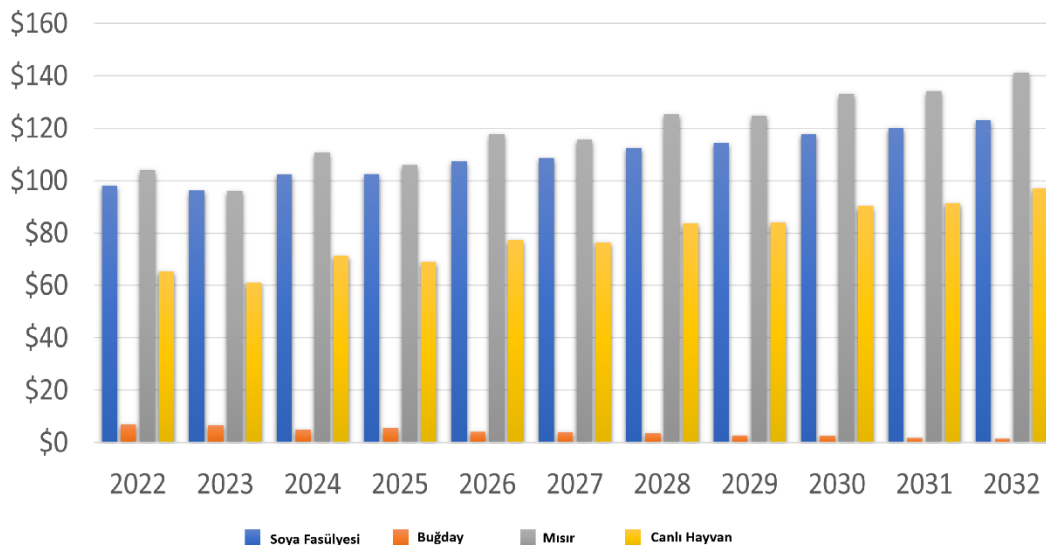
3. 3. DRONE'LARIN TARIMSAL FAALİYETTE KULLANIM ALANLARI

3.1 İlaçlama

Modern tarımla iştigal eden çiftçi ve üreticilerin giderek daha büyük ölçekte tarımsal teknolojiyi kullandıklarını gözlemliyoruz. Ülkemizde özellikle 2015 yılından beri tarımsal saha araştırmalarında kullanılan drone'lar, uygulama alanı geliştikçe, verimlilik ve sürdürülebilirlik kaygısı güden üreticiler için dijital tarım çözümleri arasında en önlerde yer almaktadır (Tan vd., 2015).

Drone'ların tarımsal faaliyette, en çok bilinen kullanım alanı ilaçlamadır. Giriş kısmında da bahsedildiği gibi, ilaçlama verimliliği en çok etkileyen girdi kalemlerinin arasında yer almaktadır. Doğru ve etkin ilaçlama ile ürün kalitesi artacak, birim verimi artan ürünlerin çiftçiye birim kazancı daha yüksek olacaktır. Etkin ve doğru ilaçlama bildiğimiz geleneksel yöntemler yapılmaya devam edilirse, verimlilik artışına etkisi nedir gibi sorulara cevap ararsak, dünyada yapılmış bazı güncel araştırmalar gösteriyor ki, otomasyonlu hava araçlarının tarımsal faaliyette kullanımı, verimliliğe ve maliyet tasarrufuna olumlu yönde katkısı olmaktadır (Dulia vd., 2022).

Grafik 1: Tarımda maliyet azaltımı (milyon \$)



Kaynak: (Dulia vd., 2022)

Yukardaki grafik, Ohio eyaletindeki soya fasulyesi, mısır, buğday ve canlı hayvan üreticilerinin ARIMA tahmin modeli ile 10 yıllık maliyet tasarruf verisini, belli hesaplama faktörleri ile tahminlenmiştir ve drone kullanan buğday tarlalarında verimin %3,3, soya fasulyesinde %2,5 artış göstereceği tahmin edilmiştir.

3.2. Sulama

Drone'ların tarımsal faaliyette, sulama ve gübrelemedeki miktar tespiti diğer bir önemli kullanım alanıdır. Su, tarımda önemli doğal kaynakların başında gelmektedir. Ancak küresel ısınmanın etkisiyle iklim krizinin olumsuz etkilerinden biri olan azalan su kaynakları alarm vermektedir. Ülkemizde tarım için kullanılan su miktarının %70'e yaklaşmış olması, suyun etkin ve doğru kullanımının hayati önemde olduğunu göstermektedir. Su kaynaklarının sadece iklim krizinden dolayı değil, yeraltı su kaynaklarının azalması, artan endüstriyel ve evsel talepler gibi diğer çevresel etkilere bağlı olması, sürdürülebilir bir dünya ve tarım için vazgeçilmez bir doğal unsur olduğunu vurgulamamız gerekiyor. Tarımda kullanılan geleneksel sulama yöntemleri, kullanılan suyun önemli bir kısmının boşa gitmesine sebep olmakta ve beklenen ürün verimini sağlamakta yeterli olmadığı görülmektedir. Bundan dolayı, akıllı sulama sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesi önemli bir konu başlığı olarak masada durmaktadır (Karar vd., 2021).

Drone'ların, yüksek çözünürlüklü görüntü tespiti ve işleme modülü ile istenen mesafeden görüntü toplayıp veriyi sunuculara ileterek, verinin doğru işlenmesini sağlamaktadır. Bu sebeple, akıllı sulama sisteminin tasarımında IOT (Nesnelerin interneti) tabanlı drone'ların kullanımı bitkilerin büyüme evresini düzenli olarak ölçerek, su ihtiyacının ne ölçüde olacağını yaprak ve ağaç temelinde sağlayabilmektedir. Ayrıca, bitkilerde aşırı sulama veya az sulama ile su stresine sebebiyet verebilecek riskleri minimize etmeye de fayda sağladığı bilinmektedir. Bitkinin gelişimini (uzama evresi, yapraklarının canlı olması) yakından izleyen ve monitörleyen IOT tabanlı drone sistemleri, sulama ihtiyacını belirlemekte öncü rol oynayabilmektedir. Ayrıca toprak analizini de yapabilen ileri düzeyde teknoloji ile donatılmış drone sistemleri ile toprağın nem oranını da hesaplayabilir aşamasına gelebilmektedir (Türkseven vd., 2016). Toprak nemini ölçebilecek hassasiyette toprak nem sensörünü de bünyesinde barındıran drone sistemleri üzerindeki wifi-fi modülü ile birlikte anlık veri akışında bulunarak, toprak nem oranı bilgisini bulut sunucuya bağlanarak, elektronik su pompalarına talimat göndererek, pompanın açılması veya kapanması yönünde işlem yaptırabilmektedir. Bu yolla, ilgili bölgede toprağın nem oranına göre su ihtiyacı hesaplanarak akıllı sulama

yapılabilmektedir. Aşağıdaki sistem, bir IOT ve Drone kullanarak, akıllı sulama sisteminin basit bir tasarımını örnek olarak göstermektedir (Karar vd., 2021).

Grafik 2: IoT ve drone kullanan akıllı sulama sisteminin şematik diyagramı



Kaynak: (Karar vd. 2021)

Drone bu örnekte görüldüğü üzere, veri toplamak için ilgili bölgede uçuşunu gerçekleştirmekte, verileri toplamakta, çevresel verileri (ısı, hava nemi ve toprak nemi) elektronik sensörler vasıtasıyla ana sunucuya WI-FI modülü ile ana sunucuya iletmekte, böylelikle cep telefonundan bile izlenebilecek veriler ile gerekli sulama miktarı otomatik olarak tahmin edilip, gerekli durumda su pompalarını otomatik olarak aktif hale getirebilecektir (Karar vd., 2021).

3.3 Hastalıkla Mücadele ve Erken Teşhis Yöntemi

Üreticiler için verimi etkileyen diğer bir risk, bitkilerin hastalanmasıdır. Hastalığa bakteriler, virüsler, kurtçuklar, mantarlar, böcekler, aşırı nem, aşırı sıcaklar, aşırı sulama, yanlış ilaçlama ve aşırı pestisit kullanımı yol açabilmektedir. Bitkilerin ve meyvelerin hastalanması üründe kalite kaybına sebebiyet verdiği gibi, ürünün ekonomik değerini de düşürmektedir (Demir ve Başayığit, 2020). Üründen alınması gereken verim düştüğünde, üreticinin ekonomik gelirini olumsuz etkileyebilecek unsurların başında geldiği için, bitkilerin doğru ve etkin yöntemlerle korunması sürdürülebilir tarımın önemi açısından kritiktir.

Geleneksel tarımsal faaliyette, bitkiyi ve meyvesini hastalıklardan korumak için geleneksel ilaçlama yapılmakta, ilacın dozu, kalitesi, ilaçlama şekli hastalığı engellemek için önemli faktörler haline gelmektedir. Çiftçinin doğru bir şekilde bilgilendirilmesi, eğitilmesi her ne kadar önemli olsa da geleneksel ilaçlama yöntemlerinin yeterli

kalmayacağı bilinmektedir. Bu durumda tarımsal teknoloji ekipmanlarını kullanmak bu soruna bir çare olabileceği düşünülmektedir. Günümüzde teknolojinin devrimci çözümlerle, her sektörde yeni çıgırlar açması yenilikçi yöntemlerin tarımda da kullanılıyor olması artık kaçınılmaz olmuştur (Demir ve Başayığit, 2020).

Drone tipi uygulamalar, zamandan ve paradan tasarruf sağlayarak, bu sorunu kaynağında çözebilecek kapasiteye sahip olduğu saha araştırmalarında gözlenmektedir. Hastalık teşhisi, tarımda gıda üretimini artırmak için üzerinden gelinmesi gereken zor bir görev olarak önümüzde durmaktadır (Yüksel, 2020). Hassas tarım yapan üreticilerin her ne kadar dijitalleşmeyi en üst düzeyde kullanıyor olmasına rağmen, drone ile hastalık teşhisi belki de tüm bu dijital çözüm içerisinde en zor görünen bir çalışmadır. Entegre sistemler içinde verilerin hassas ve yüksek kalitede toplanması, ayıklanması, işlenmesi ve analiz edilerek anlamlı bir veri setine dönüştürülmesi meşakkatli bir sürecin halkalarıdır. Bu süreçte kullanılacak yazılımın, donanımın, drone ekipmanının yüksek kalitede veri aktarımını sağlayabilecek standartta olması, veriyi toplayan görüntüleme sensörlerinin spektral bant genişliği, çözünürlüğü gibi etkenlerin veri kalitesini etkilediği bilinmekte ve bu da hastalığın teşhisinde eldeki kısıtlara ve engellere dönüşebilmektedir (Neupane ve Baysal-Gurel, 2021).

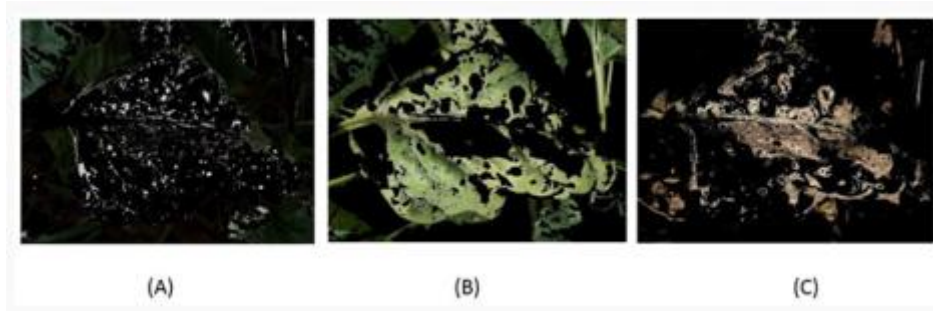
Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları sayesinde, bitki hastalıklarının teşhisinde ufuk açıcı çözümler sunduğunu söylemek mümkündür. Bilindiği üzere, drone'ların temel işlevi görüntü yakalamak ve görüntüyü ana sunucuya aktarmaktır. Toplanan bu veriler, görüntü işleme ve derin öğrenme araçları ile anlamlı veri ve analiz sonucuna dönüştürülmektedir. Cihaz üzerindeki geniş spektrumlu elektromanyetik tarama alanı bitkinin fizyolojik stresini gözlemlemek için faydalı bilgiler sağlayabilmektedir. Bitki hastalıklarını tespit edebilmek için, drone aygıtının bu spektrumda yakalamış olduğu hassas görüntüleri, yapraklar üzerindeki yakın kızılötesi (Near Infrared) yansımaların yol açtığı fiziksel stresin ölçümü ile mümkün olabilmektedir. Yine aynı şekilde, ürünlerin fotosentetik faaliyetlerindeki strese sebep olan hastalıkların teşhisi kırmızı dalga boyu aralığında drone marifeti ile ölçülebilmektedir.

Drone'larda kullanılan kamera ve sensörlerin kalitesi, görüntüyü işleyecek derin öğrenme ve yapay zekâ algoritmalarının daha doğru ve kesin sonuçlar verebildiği bilinmektedir. O yüzden sensör seçimi, drone'ların kullanım alanlarının belirlenmesinde ön koşul olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, topraktaki kuraklık stresinin ölçümü termal sensörler aracılığı ile yapılabilmekte iken, bitkilerdeki patogen muhteviyatı daha yüksek teknoloji destekli hiperspektrumlu sensörler ve termal sensörlerle tespit edilebilmektedir. RGB kameraları temelde Kırmızı, Yeşil ve Mavi gibi 3 rengin yoğunluğuna göre veri işleyen yüksek çözünürlüklü kameralardır. RGB kameraları tarım

ürünlerinin 3 boyutlu modellemesini yapmakta ve ürün biokütlenin tahmini ölçümünü yapabilmektedir.

Türkiye’de yapılan bir araştırmada, drone kullanımı ile Şeker Pancarı ürünüde benek hastalığının tespiti yapılabilmektedir (Ziya vd., 2018). Bu çalışmada, DJI Phantom 3 Advanced marka, 12 megapiksel kameralı ve 60FPS’de 1080 piksel kalitesinde video görüntüsü toplayabilen bir Drone kullanılmıştır. 2 km menzil içinde akıllı telefon ve tabletlere gerçek zamanlı veri gönderebilen bir yapıya sahiptir. Toplanan veriler MATLAB yazılım programı ile işlenmekte ve yüksek kalitede veri analizi ile istenen sonuçlara ulaşılmaktadır. Görüntülerin alınacağı zaman da bu açıdan önemlidir. Şeker pancarı 2 yılda yetişen yaz mevsimi bitkisidir. Mart ayının sonunda ekilip, Ekim ayında hasadı yapılan bu üründe, hastalığın ilk belirtileri Mayıs- Haziran aylarında ortaya çıkmaktadır ve sezon boyunca önlem alınmazsa, hastalığın yayılması söz konusu olabilmektedir. Ağustos ayında da hastalığın yayılımı zirve yapmaktadır. Bu yüzden, bu saha çalışmasında, veriler 2016 Ağustos-Eylül arasında toplanmıştır. Drone aracılığı toplanan bu veriler doğal ışık ortamında elde edilmiştir. Toplanan verilerin önceden belirlenmiş algoritmalarla işleme sürecinden sonra, hastalıklı ve sağlıklı yaprakların sınıflandırılması RGB kameralı optik spektrum analizi ile yapılmaktadır. Görüntüdeki her bir piksel gruplandırma yöntemi ile analiz edilerek etiketlenilmektedir (Ziya vd., 2018).

Grafik 3: Hastalıklı görüntünün üç küme arasından seçilimi.



Kaynak: (Ziya vd., 2018).

Yukarıdaki gruplandırma segmentasyonuna göre, 3 ayrı segmentte hastalıklı görüntünün seçimi kolaylaşmaktadır. Kullanılan veri işleme metotları her sorunda farklı olabilir, bazı hastalıkların teşhisi için derin öğrenme modelleri ve makine öğrenmesi metodu kullanılırken, bazı durumlarda regresyon analizi, vejetasyon indisleri, K-means clustering metotları kullanılabilir. Bazı durumlarda ise birden fazla metot aynı anda kullanılmakta ve kesin sonuç alınabilmektedir. Önemli olan hangi veri seti için hangi metodun uygulanacağına önceden karar vermektir. Neticede amaç doğru modelleme kurgusu ile eldeki veriyi en iyi şekilde analiz edip, hastalık teşhisini yüksek yüzdeyle tahmin edebilmektir. Veri analizi yapılırken karşılaşılan teknik hatalar (görüntüdeki veri

kalitesi, veri transferindeki kalite, görüntü aldanması, optik yanılsama) bazen doğru sonuçlar vermeyebilir, hata payını göz önünde bulundurarak, birden fazla teknikle tahminleme yöntemi yapmak da en iyi sonucu verebilir.

Görüldüğü üzere, veriyi uygun kamera ve sensörlerle toplayıp ileten drone teknolojisi bitki ve yapraklardaki hastalığını gelişim evresini tespit etmekte ve yayılmasını engelleyecek yapısal çözümler bulunması için uyarı sistemini geliştirmektedir. Bu da belli bir bölgede ekilen ürünlerin tamamen hastalanıp, ürün vermemesine ve ekonomik açıdan üreticiyi zora sokabilecek risklere karşı önleyici tedbir olarak kullanılabileceğine iyi bir örnek olarak gösterilebilir (Demir ve Başayığit, 2020). Riski teknoloji ile bertaraf ederek, maliyet ve zaman avantajı yaratan dijital çözümlerin hassas tarımın belkemiğini oluşturduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

3.4 Gübreleme

Drone aygıtlarının akıllı ve hassas tarımdaki etkin kullanım alanları Aynen ilaçlamada olduğu gibi drone'lar vasıtası ile gübre uygulaması zaman ve insan gücünden tasarruf sağlamaktadır. Drone ile gübre ekimi en yakın zamanlı örnek, 2022 Mart ayında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Aksu çiftliğinde gerçekleşen uygulamadır. Bu uygulamada, çiftlikte ana ürün olan buğday için daha önceden yabancı ot ilacı uygulaması yapıldıktan 3 hafta sonra, aynı arazide, drone vasıtası ile katı gübre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemle yapılan gübre ekimi hava ve arazi şartlarına bağlı olarak belirli dönemlerde yapılmakta, aşırı yağışların olduğu zamanlarda ve arazinin engebeli ve geniş olduğu alanlarda, insan gücünden ve zamandan tasarruf etmek için, drone uygulamasının daha etkin ve verimli sonuçlar verdiği görülmüştür. Geleneksel yöntemde traktöre bağlı gübre makinesi ile gübreleme yapıldığında, tarlanın fiziki şartları çok elverişli olmadığında, yeteri düzeyde gübreleme yapılamadığı ve buna bağlı ürün gelişimi ve veriminin yeterli olmayacağı bilinmektedir. Arazi şartlarından bağımsız, uzaktan kumanda ile sevk ve idare edilen drone'lar aracılığı ile gübreleme imkânı da yine drone'lar aracılığı ile haritalandırılmış ve ölçeklendirilmiş büyük arazilerde uygulama kolaylığı sunabileceği görülebilmektedir (Akdeniz Üniversitesi, 2022).

3.5 Ürün Ekimi

Drone'ların tarımsal faaliyet alanında en çok kullanıldığı yerin ilaçlama olduğu bilinmekle birlikte, son yıllarda insan gücüyle ekim yapılan çeltik arazilerinde, ekimlerin drone'lar vasıtası ile gerçekleştirildiğine yönelik güncel haberler, inovatif tarımcılığın en nadide örnekleri arasında yerini almıştır. Türkiye'deki çeltik üretiminin çok önemli bir kısmına sahip olan Trakya arazilerinde, çeltik ekiminin drone aracılığıyla yapılmaya başlandığı duyurulmuştur. Yine aynı şekilde, Kırıkkale'de Sulakyurt ilçesinde su salma

işleminden sonra, drone ile çeltik ekimi yapıldığı haberleştirilmiştir (Gökmen, 2022). Katma değer yaratan bu inovatif yaklaşım ile insan gücünden tasarruf eden çiftçiler aynı zamanda yakıttan da tasarruf etmeyi başarıyor. İşgücü maliyetlerini azaltan bu yenilikçi uygulamanın tarımda değer zinciri oluşturmaya çalışan yeni üretici profiline giderek arttığına en güzel örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.6. Yabancı Ot Tespiti

Tarımsal faaliyetle iştigal eden üreticiler, ürettiği ürününden maksimum verimi sağlamayı amaçlar bu da hasat ettiği ürününden elde edeceği gelirin artmasına da yol açacağı için, girdi maliyetlerini düşürmenin yanı sıra, verime etki edecek çevresel risk faktörlerini de dikkate almak zorundadır. Yabancı otların tespiti ve mücadelesi, bitki zararlısı böceklerle mücadele kadar önem arz etmektedir. Yabancı otların temizliği başlı başına bir mücadele alanı olmakla birlikte, geniş ekim alanlarında tespitinin sürekli yapılması ve denetlenmesi üreticilerin için zaman ve işgücü kaybına sebebiyet verebilmektedir.

Bitki koruma unsuru olarak yabancı otlar mücadelesinde geleneksel yöntemlerle yapılan yabancı ot tespiti ve mücadelesi daha gelişmiş teknoloji aygıtları ile zamandan tasarruf sağlamaktadır. Bitki korumada etkin mücadele edilmesi gereken yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, besin maddesi ve ışık açısından rekabete girerek verim ve kaliteyi doğrudan etkilemekte, bazı önemli hastalık ve zararlılara karşı konukçuluk yaparak da kültür bitkilerine zarar verebilmektedirler (İnan ve Karcı, 2021).

Bu bitki zararlılarını erken teşhis edip, tüm bölgeyi kaplamaması için müdahale etmek sorunun çözümü için önleyici yaklaşımı sağlamaktadır. Drone'lar bu soruna pratik çözüm sunabilecek donanım yapısı ile her arazi yapısına uygun kullanımında öncülük edebilecek alternatif bir uygulamadır. Giderek gelişen teknolojik yeniliklere paralel, drone teknolojisi de kendi içinde devrimsel nitelik kazanmış, cihazın üzerindeki sensörler daha hassas ölçüm yapabilecek kapasiteye ulaşmış, kameraların boyutları küçülmüş böylelikle daha ergonomik bir yapı kazanan drone'lar görüntü işleme kalitesinde de büyük gelişmeler kaydetmiştir. Hassas tarım uygulamalarına drone'ların girmesi ile birlikte, bu cihazlara takılacak yan ekipmanların çeşitliliğinde artış olacağı öngörülmektedir.

Yabancı otların tespiti konusunda farklı özellikteki kamera sistemlerinin kullanımı daha iyi görüntü alınması ve işlenmesine zemin hazırlanmaktadır. Drone'lara takılacak kameralardan alınacak verilerin farklı algoritma ve derin öğrenme metotları ile işleminden geçirilmesi sonrasında araştırma yapılan bölgenin flora haritası rahatlıkla çıkarılabilmektedir. Yabancı otların tespiti için kullanılan kameraların KızılÖtesi (NIR) veya NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) özellikte olmasına dikkat

edilmelidir. Bu tespit kızıl ötesi kameralar ile bitkilerin yakın kızıl ötesi bandının (NIR), kırmızı (R) banda oranının belirlenmesi ile yapılabilmektedir. Kızıl ötesi olarak hesaplanan bitki indeksi (VI) bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir (İnan ve Karcı, 2021). NDVI kameralarından elde edilen verilerle daha çok bitki örtüsünün durumu ve büyümesi, yaprak alanı indeksi ve bitki boyu gibi özellikler elde edilebilmektedir (İnan ve Karcı, 2021). Hedef bölgenin tanımlanması sonucunda yapılan uçuşlar ile İHA tarafından gerekli görüntüler kayıt altına alınabilmektedir. Kayıt altına alınan bu görüntüler daha sonradan işlemlere tabi tutulmak sureti ile yabancı otun türü ve varlığı, yabancı ot yoğunluğu, yabancı otun ekonomik zarar seviyesi bilinen kültür bitkilerinde ekonomik zarar seviyesinde olup olmadığı belirlenmekte ve bu yabancı ottan kaynaklı olarak oluşabilecek ekonomik kayıpların analizi yapılabilmektedir (İnan ve Karcı, 2021).

Böylece oluşturulacak olan küresel koordinat noktasının (GPS) bilinmesi ile noktasal olarak yabancı ot ile mücadele yapılmak suretiyle gereksiz herbisit kullanımının önüne geçilmiş olunacaktır (Şin ve Kadioğlu, 2019).

3.7 Sürü Yönetimi ve Takibi

Sürü yönetiminde yenilikçi yöntemlerin teknoloji kullanımı ile birlikte daha etkin sonuçlar alınabildiğine ilişkin birçok saha araştırması olduğu bilinmektedir. Özellikle sayım, tespit ve sürü yönetimi gibi alt başlıklarda yapılan saha çalışmaları, sağlık kontrolü gibi (Gül S. vd., 2021).

Hayvancılık, drone endüstrisi için gelişmekte olan bir sektör olmaya adaydır. Özellikle artan insan nüfusunu besleyebilecek yeterli gıda üretiminde hem süt hem de et hayvancılığı hala önemini korumaktadır. Rakımı yüksek yerlerde yapılan serbest dolaşım hayvancılığında hayvan nüfusunu kontrol etmek, sürü davranışını gözlemlemek, hastalık veya sakatlanma varsa tespit etmek gibi hassas takip sürecinde, sürü büyüklüğü ve coğrafi koşullarından bağımsız drone uygulaması yapılabilmektedir. Sürüdeki her bir hayvanın günlük yaşamsal aktiviteleri drone üzerindeki sensörler tarafından izlenebilmekte ve hayvanın bir önceki günlük rutininden sapma varsa, davranış değişikliğinin tespitini yapabilme adına veri sunabilmektedir (Gül S. vd., 2021). Üretici maliyet analizini bu sayede daha rahat yapabilmektedir, çünkü bu kadar çok hayvanla uğraşmanın zaman ve işgücü maliyeti vardır ve aynı zamanda sürü içinde hastalık varsa hastalığın tespitinin erken yapıp hastalığın yayılmasına yönelik hamleler de üreticinin zararını minimize etmeye yardımcı olabilecektir.

Drone sisteminin üretici-yetiştiriciye başlangıç maliyeti yüksek olabilir ancak belli bir süre sonra operasyon maliyetlerinin düşmesine yardımcı olmasından dolayı, uzun vadede kendi maliyetini amorti edebileceği açıktır (Yüksel, 2020).

Açık alanda yapılan hayvancılığın diğer bilinen risklerin başında, hayvanların yüksek eğimli arazilerde sürü davranışı içinde toplu zarar görmesi, ormanlık alanlarda kaybolması veya vahşi hayvan saldırısına uğraması gibi riskler gelmektedir. Geleneksel yöntemde, çobanlık veya sürüyü koruyan kollayan köpekleri çalıştırmak işgücü ve muhafaza maliyetini artırdığı gibi insanların da ulaşamayacağı zorlu coğrafi alanlarda sürünün yayılması ve toparlanıp geri getirilmesi durumu mevcut olabilmektedir. Bu durumda sürünün davranışının iyi gözlenmesi ve sürünün güzergâhının sürekli takip edilip, erken uyarı sistemi ile çiftlik yönetimine anlık bilgi verilmesi drone sistemi ile mümkün olabilmektedir (Al-Thani vd., 2020). Ayrıca ileri düzeyde uyarı sistemine sahip drone'lar sayesinde, sürüden ayrılan ya da güzergâh dışına çıkan sürüyü yakından takip edip, çoban köpeği misali sesli uyarı mekanizması ile sürüyü tekrar yönlendirmeye çalışması de pek mümkündür. Drone'ların yine aynı şekilde, çiftlik sınırlarını koruma ve gözetleme gibi önleyici bazı tedbirleri de uygulama fırsatı vermesi açısından önemli olduğunu söyleyebiliriz. Özellikle, yasadışı bir şekilde çiftlik sınırına giren izinsiz kişilerin veya sürünün can sağlığını tehlikeye atabilecek vahşi hayvan geçişlerinin tespiti konusunda drone'ların, gece-gündüz devriye gezen gözcü sıfatı taşıdığını iddia etmek çok yanlış olmayacaktır (Gül S. vd., 2021).

3.8. Sigorta Hasar Tespiti

Sürdürülebilir tarımsal üretiminde, diğer bir dışsal etki ise değişen çevresel ve iklimsel risklerle birlikte artan doğal afetlerdir. Tarımda risk yönetimi bu yüzden başlı başına ele alınması gereken makroekonomik bir meseledir. Tarımsal faaliyetin devamlılığını ve sürdürülebilirliğini sadece uygun tarım teknikleri ve zirai mücadele başarısı ile sağlamak mümkün değildir. İlaçlama, gübreleme, optimum su kullanımı, ürünün verimi için yeterli değildir. Çünkü değişen iklim koşullarında, öngörülemeyen meteorolojik hava olayları her geçen sene şiddetini artırmakta ve seller, tropikal fırtınalar, don dolu olayları, kuraklık, aşırı yağış, aşırı sıcaklar gibi riskler, açık havada üretim yapan üreticinin doğal risklere karşı ürünleri teminat altına alacak ve maddi açıdan bir sonraki sene yeni ürün ekimi için sürdürülebilir bir tarım sisteminin devamını sağlayacak bir sigorta şemsiyesinin gerekliliği bilinmektedir (Sigorta Medya, 2020). Bu amaçla 2005 yılında faaliyetine başlayan Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM) kâr amacı gütmeyen ve çiftçiye sigorta prim ödemesinde %70'lere varan devlet desteği sağlayan bir sistemle, olabilecek riskler için poliçe genel şartları çerçevesinde güvence vermektedir. TARSİM, bu riskleri sigortalarken, üreticiden topladığı primleri havuz sisteminde değerlendirip, devlet desteği ile birlikte ödenecek hasarlar için havuzda birikim sağlamaktadır. TARSİM, hasar tazminatını eksiksiz, hızlı ve üreticiyi memnun edecek şekilde yapabilmek için, sahada görevlendirdiği hasar eksperlerini sürekli eğiterek, çiftçinin sisteme olan güvenini ve inancını artırmayı hedeflemektedir. TARSİM,

her geçen yıl artan poliçe sayısı ve buna bağlı artan hasar tazminatını etkin bir şekilde yönetebilmek için, sahadaki eksperlerini yeni teknolojilerle buluşturmaya başlamıştır. Drone, hasar tespitini kolaylaştıran araçların başında gelmektedir.

Risk inceleme ve hasar tespit çalışmalarında hız ve verimlilik isteyen TARSİM bunun için drone'ları kullanmaya başladığını duyurmuştur (Sigorta Medya, 2020). TARSİM, verdiği eğitimlerle, sahada görev yapan hasar eksperlerini işlerini kolaylaştırıp, engebeli arazi ve zorlu coğrafi koşullarda hasar tespitinin kısıtlı zamanda çok büyük arazileri tarayacak drone marifeti ile süreçleri iyileştirmeyi hedeflemiştir. Özellikle bitkisel ürünlerdeki dolu hasarının tespitinin ürünler üzerindeki etkisini tespit edip, hasar tazminatını hesaplayabilecek yeterli doneyi toplayabilecek bir veri altyapısını drone'lar sayesinde oluşturabilecektir (Sigorta Medya, 2020).

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Drone'ların, savunma sanayide kullanımıyla başlayan ilk çıkış amacından çok daha fazla mesafe kaydederek, lojistik, eğlence, tarım vb. çok farklı disiplinlerde kullanım alanı buluyor olması bu teknolojinin belli bir alanda bile bir süre alt faydalar sağlayacak yeni gelişim alanları açmasına sebep olmaktadır. Tarımdaki esas kullanım amacı önce ilaçlama olarak bilinse de yukarda sayılan konu başlıklarının her birinde çok etkin olduğunu verimliliği artırıp zaman ve işgücü maliyetlerini düşürücü etkisi ile geleneksel tarımın yerine kolaylıkla ikame edilebilecek yenilikçi faydalar sağladığını söyleyebiliriz. Gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım ülkeler için vazgeçilmez stratejik öneme haiz derin meseleler olmaya devam ettikçe, tarımda verimliliği artıracak buna benzer akıllı dijital çözümlerin artacağını öngörmek zor olmayacaktır. Zorlu arazi şartlarından dolayı araçların ve insanların tarım alanlarına girememesi, tarımsal araçların tükettikleri yakıtların oluşturmuş olduğu maliyetler, yakıtların ve ilaçların çevreye verdiği zararlar, insan iş gücüne dayalı ilaçlamalarda eşit oranda ilacın püskürtülememesi, ilaçlamanın saatlerce günlerce sürmesine bağlı olarak ilaçlanma sürelerinin artması ve ilaçlamayı yapan kişilerde oluşabilecek ciddi sağlık sorunları gibi birçok problem ortaya çıkmaktadır. Drone teknolojisi geliştikçe, tarımdaki üretime bağlı yapısal sorunlara çözüm üretmek için piyasada bu teknolojiyi üreten pazarlayan firmalar arasında ciddi bir rekabet oluşacak ve bu yeni pazarın daha rekabetçi olmasının uzun vadede çiftçiye bu teknolojiye ulaşmada maliyet açısından avantaj yaratacağını söyleyebiliriz.

Gelecekte, Tarım 4.0 perspektifinden bakıldığında, tarımsal faaliyetlerde dijitalleşme kaçınılmaz olacak, drone kullanımı hayatı kolaylaştırıp minimum işgücüyle maksimum verim elde etmede çok önemli bir enstrüman olacaktır.

Kaynaklar

Al-Thani, N.; Albuainain, A.; Alnaimi, F.; Zorba, N. Drones for Sheep Livestock Monitoring. In Proceedings of the 2020 IEEE 20th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Palermo, Italy, 16–18 June 2020; pp. 672–676

Akdeniz Üniversitesi, (2022), <https://www.akdeniz.edu.tr/ziraat-fakultesi-aksu-ciftliginde-drone-ile-kati-gubre-uygulamasi-gerceklestirildi/>

Daponte, P., De Vito, L., Glielmo, L., Iannelli, L., Liuzza, D., Picariello, F., and Silano, G. (2019, May). A review on the use of drones for precision agriculture. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 275, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.

Demir, S., ve Başayığıt, L. (2020). Sorunlu gelişim gösteren bitkilerin insansız hava araçları (İHA) ile belirlenmesi. Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, 2(1), 12-22.

Drones (2024), How do drones work? Ferrovial Resources <https://www.ferrovial.com/en/resources/drones/#:~:text=Drones%20work%20much%20like%20other,to%20set%20a%20course%20automatically,>

Dulia, Esrat F., Mir S. Sabuj, and Syed A. M. Shihab. 2022. "Benefits of Advanced Air Mobility for Society and Environment: A Case Study of Ohio" Applied Sciences 12, no. 1: 207. <https://doi.org/10.3390/app12010207>

FlyPixAI, (2024), UAV Surveying Software, Tools, and AI: A Comprehensive Guide, <https://flypix.ai/blog/uav-surveying-software-tools-ai/>, 20 August 2024.

Gökmen, M.F. (2022), Çiftçilerin dron ile çeltik ekim mesaisi başladı, <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/ciftcilerin-dron-ile-celtik-ekim-mesaisi-basladi/2606649>, 07.06.2022.

Gül, S., Güzey, Y. Z., Yıldırım, H., and Keskin, M. (2021). Eye of the farmer in the sky: Drones. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3(2), 69-77.

İnan M. ve Karcı A. (2021) Tarımda Ağaç İlaçlamanın Drone'larla Yapılmasında Yeni bir Yöntemin Geliştirilmesi ve Uygulanması, Anatolian Journal of Computer Sciences, Volume:6 No:2, pp:72-89.

Karar, M. E., Alotaibi, F., Rasheed, A. A., and Reyad, O. (2021). A pilot study of smart agricultural irrigation using unmanned aerial vehicles and IoT-based cloud system. arXiv preprint arXiv:2101.01851.

Neupane, K., and Baysal-Gurel, F. (2021). Automatic identification and monitoring of plant diseases using unmanned aerial vehicles: A review. Remote Sensing, 13(19), 3841.

Sigorta Medya, (2020). TARSİM'in Drone Eğitimleri başladı. <https://sigortamedya.com.tr/tarsim-drone-egitimleri/> , 29 Temmuz 2020.

Şin, B., ve Kadioğlu, İ. (2019). İnsansız hava aracı (İHA) ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespitinin yapılması. *Turkish journal of weed science*, 22(2), 211-217.

Tan, M., Özgüven, M. M., ve Tarhan, S. (2015). Drone sistemlerin hassas tarımda kullanımı, 29. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi ve Enerji Kongresi, 2-5.

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.

Yuksel, I. (2020). Digitalization with the Use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Agriculture. *J. Ind. Policy Technol. Manag*, 3, 193-203.

Ziya, A., Mehmet, M. O., and Yusuf, Y. (2018). Determination of Sugar Beet Leaf Spot Disease Level (*Cercospora beticola* Sacc.) with Image Processing Technique by Using Drone. *Curr Inves Agri Curr Res* 5 (3)-2018. *Mediterranea*, 34(3), 149-156.

http-1. https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/drone-with-camera-isolated-on-empty-white-background-3d-rendering-gm2152008211-573054194?utm_source=pixabay&utm_medium=affiliate&utm_campaign=sponsored_image&utm_content=srp_topbanner_media&utm_term=dron



EGE ÜNİVERSİTESİ
Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi
Journal of Transportation Management Research
<https://jotmar.ege.edu.tr/>

Geliş/Received: 26.03.2025 Kabul/Accepted: 28.04.2025
Araştırma Makalesi

Covid-19 Sonrası Havacılık Sektöründe Toparlanma Süreci: Türkiye'deki Havacılık İşletmeleri Üzerine Bir Değerlendirme

Begüm Buse SERTGÖZ¹

Aydan SAVICI POLAT²

Zafer DURAN³

Özet

Bu çalışma, küresel havacılık sektöründe benzeri görülmemiş bir kriz ortamı yaratan ve sektörü derin operasyonel ve finansal zorluklarla karşı karşıya bırakan COVID-19 pandemisinin ardından Türkiye'de faaliyet gösteren havacılık şirketlerinin toparlanma süreçlerini kapsamlı biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda çalışma kapsamında Borsa İstanbul Ulaştırma Endeksi bünyesinde işlem gören havacılık işletmeleri ele alınarak bu işletmelerin 2022, 2023 ve 2024 yıllarına ait performansları temel finansal oranlar üzerinden değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde finansal göstergelere ilişkin ağırlıklar nesnel bir yöntem olan Entropy yöntemi ile belirlenmiş; ardından elde edilen bu ağırlıklar doğrultusunda işletmelerin toparlanma sürecindeki performansları WASPAS yöntemi aracılığıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analiz bulguları, Çelebi Hava Hizmetleri A.Ş.'nin incelenen tüm dönemlerde istikrarlı bir şekilde en yüksek performansı gösterdiğini, Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş. ve Türk Hava Yolları A.O.'nun ise incelenen yıllar boyunca kendi sıralamalarında dönemsel farklılıklar sergilediğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Havacılık sektörü, Havacılık operasyonları, Covid-19 sonrası toparlanma, Entropy yöntemi, WASPAS yöntemi

Recovery Process In Aviation Sector After Covid-19: An Assessment On Aviation Companies In Turkey

Abstract

This study aims to comprehensively examine the recovery processes of aviation companies operating in Turkey after the COVID-19 pandemic, which created an unprecedented crisis environment in the global aviation industry and left the sector facing deep operational and financial challenges. To this

¹ Öğr. Gör., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Gazipaşa MRB MYO, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Sivil Havacılık Kabin Hizmetleri Programı, begum.sertgoz@alanya.edu.tr, ORCID: 0009-0006-5531-9889

² Öğr. Gör., Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, aydan.savici@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0183-9540

³ Dr. Öğr. Üyesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Gazipaşa MRB MYO, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, İşletme Yönetimi Programı, zafer.duran@alanya.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7227-4196

end, the study focuses on aviation companies traded on the Borsa Istanbul Transportation Index and evaluates their performance for the years 2022, 2023 and 2024 based on key financial ratios. In the evaluation process, the weights of the financial indicators were determined using the Entropy method, which is an objective method, and then the performance of the companies in the recovery process was comparatively analyzed according to these weights using the WASPAS method. The results of the analysis showed that Çelebi Hava Hizmetleri A.Ş. consistently showed the highest performance in all periods analyzed, while Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş. and Turkish Airlines A.O. showed periodic differences in their rankings throughout the years analyzed.

Keywords: Aviation industry, Aviation operations, Post Covid-19 recovery, Entropy method, WASPAS method.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze şehirlerin en temel unsurlarından biri olan ulaştırma sistemleri, küreselleşmenin etkisiyle temel ve zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir (Macit, 2024). Küresel etkileşimin en büyük bağlantısı olan hava taşımacılığı (Allroggen vd., 2015), şehir çiftleri veya bölgeler arasında yolcu ve yük taşımacılığı açısından yolcu ve yük taşımacılığı açısından stratejik bir rol üstlenmektedir. Hızlı rotalar ve uçuş ağı sayesinde sosyal ve ekonomik gelişmeyi teşvik eden bir ticaret unsuru olan havacılık sektörü (Loo vd., 2005), sağladığı erişilebilirlik ve etkinlik bakımından birçok endüstrinin entegrasyonunu desteklemektedir. Ancak bu stratejik önemine karşın, dışsal şoklara ve krizlere karşı son derece hassas bir yapıya sahiptir. Nitekim 11 Eylül 2001 terör saldırıları, 2003 yılında patlak veren SARS salgını ve 2008 Küresel Finans Krizi gibi şok edici olaylar, küresel havacılık sektöründe talep daralmaları, ciddi mali kayıplar ve operasyonel aksamalar gibi çok boyutlu sorunlara yol açarak sektörü dönemsel krizlerle karşı karşıya bırakmıştır. Söz konusu krizlerin çoğu, yapısal olmayan, bölgesel sınırlarda kalan ve orta vadede toparlanma olanağı tanıyan geçici türden dalgalanmalar olarak kayıtlara geçmiştir. Ancak COVID-19 pandemisi, bu döngüsel örüntüyü altüst ederek sektörde eş benzeri görülmemiş bir kriz yaratmıştır (IATA, 2020; ICAO, 2021). Bu pandemi krizi diğer krizlerden farklı olarak küresel hava taşımacılığı sistemini etkilemenin ötesine geçerek sektörün dengesini derinden sarsmıştır. (Zhang vd., 2025; Sun vd., 2020). Zira pandemi sürecinde, ülkeler arasındaki koordinasyonsuz sınır kapatma uygulamaları ve yaygın seyahat kısıtlamaları, tüketici talebinde ani ve sert bir düşüşe sebep olmuş (Budd vd., 2020); bu durum, küresel yolcu trafiğinde %60'ın üzerinde, uçuş sayılarında ise %50'den fazla azalma ile sonuçlanmıştır (IATA, 2023a; ICAO, 2023). Küresel ölçekte uçuş sayılarındaki bu düşüş, 2019'da 37,5 milyon olan toplam uçuş sayısının 2020'de 19,7 milyona gerilemesine neden olmuş ve havacılık sektörünün küresel çapta karşılaştığı en sert operasyonel daralmalardan biri olarak kaydedilmiştir (IATA, 2023a). Bu operasyonel gerilemenin kaçınılmaz bir sonucu olarak da havayolu işletmelerinin mali yapılarında kırılmalara ve borçluluk seviyelerinde tarihi artışlara neden olmuştur.

Bu bağlamda çalışma kapsamında kullanılan 'toparlanma' kavramı, yalnızca finansal göstergelerle sınırlı olmayıp, şirketlerin operasyonel esneklik kazanma, mali sürdürülebilirlik sağlama ve stratejik adaptasyon geliştirme düzeylerini de içeren bütüncül bir performans göstergesi olarak ele alınmıştır. Pandeminin etkileri yalnızca operasyonel ve finansal alanla sınırlı kalmamış; havayolu şirketlerinin stratejik karar alma süreçlerinde de yapısal dönüşümlere zemin hazırlamıştır. Özellikle kamuya ait taşıyıcılar, sahip oldukları finansal destek mekanizmaları sayesinde kriz döneminde daha dayanıklı bir yapı sergilemiş, özel sektör havayolları ise likidite baskıları ve artan borç yükü nedeniyle daha kırılgan bir görünüm ortaya koymuştur (Ramlall, 2025). Pandemi sonrası toparlanma süreci ise bölgesel dinamiklere ve şirketlerin iş modellerine bağlı olarak farklılaşmıştır. Özellikle ikincil şehirlerde ve yerel pazarlarda toparlanma, daha hızlı bir şekilde kendini göstermiştir (Sun vd.,2023). Bununla birlikte hava kargo taşımacılığı ise dayanıklı yapısıyla sektörel gelir kayıplarını kısmen telafi eden stratejik bir unsur olarak ön plana çıkmıştır (Tanrıverdi vd., 2022). Dahası düşük maliyetli taşıyıcılar (LCC) ile tam hizmet taşıyıcıları (FSC) arasındaki toparlanma süreci belirgin farklılıklara sahne olmuştur. LCC'ler, iç hat pazarlarında faaliyet gösterdikleri ve daha esnek maliyet yapısına sahip oldukları için daha hızlı toparlanırken, FSC'ler uzun menzilli uluslararası hatlara bağımlılıkları nedeniyle pandemi sonrası toparlanmada geride kalmıştır (Wu vd., 2025). Nitekim finansal veriler, 2022 yılı itibarıyla küresel havayolu sektöründe net gelirlerin artış eğilimine girdiğini ve borç yapılandırılmalarına yönelik adımların hız kazandığını göstermektedir (Sun vd., 2023). Sektör, bu süreçte maliyet optimizasyonu, filo yenileme ve sürdürülebilirlik odaklı yatırımlar gibi uzun vadeli stratejilere odaklanarak finansal dayanıklılığı artırma çabası içerisine girmiştir (Michelmann vd., 2022).

Küresel ölçekte yaşanan bu toparlanma Türkiye'de kendini belirgin bir şekilde göstermiştir. 2023 yılında yolcu trafiğinde ciddi artış yaşanmış, özellikle iç hatlardaki yüksek doluluk oranları ve dış hat bağlantılarının artırılması hem operasyonel hem de finansal toparlanmayı desteklemiştir (DHMİ, 2022). Türk Hava Yolları (THY) başta olmak üzere, birçok şirket borç yapılarını disipline ederek pandemi döneminde artan finansal riskleri kademeli olarak azaltmıştır (Sucu, 2021). Ayrıca turizm sektöründeki güçlü talep, Türkiye'de havayolu taşımacılığı gelirlerinin toparlanmasına ve finansal göstergelerin iyileşmesine katkı sağlamıştır (Şen ve Bütün, 2021). Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren ve Borsa İstanbul Ulaştırma Endeksi (BİST Ulaştırma) kapsamında işlem gören havacılık işletmelerinin toparlanma süreci, faaliyet sonuçlarına dayalı olarak ilgili finansal oranlar üzerinden değerlendirilerek şirketlerin toparlanma sürecine ilişkin operasyonel performansları derinlemesine irdelenmiştir. Bu doğrultuda performans göstergelerinin ağırlıkları Entropy yöntemiyle belirlenerek araştırmaya konu olan işletmeler performansları bakımından WASPAS yöntemiyle sıralanmıştır. Çalışma sonucunda elde

edilen bulgular ışığında, sektör temsilcileri ve araştırmacılara yönelik stratejik içgörüler sunulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR

COVID-19 pandemisi, küresel havacılık operasyonlarını derinlemesine etkileyen beklenmedik bir kriz ortamı yaratmıştır. Pandemi sürecinde operasyonların büyük ölçüde askıya alınması, uluslararası ve iç hat uçuşlarında ciddi azalmalar yaşanması ve yolcu güveninin sarsılması gibi faktörler, havayolu şirketlerini hem kısa hem de uzun vadede ağır mali zorluklarla karşı karşıya bırakmıştır (Dube vd., 2021; Gudmundsson vd., 2021). Bu durum araştırmacıları havayolu sektörüne yönelterek sürecin çok yönlü bir şekilde ele alınmasına neden olmuştur. Dolayısıyla son yıllarda pandemi ve sonrası havacılık sektörünün karşılaştığı sorunları ve çözüm yollarını inceleyen çalışmalar artış göstermiş ve literatürde dikkate değer bir birikim oluşmuştur. Bu bağlamda literatür taraması, kapsamlı veri tabanlarında yapılandırılmış anahtar kelimeler kullanılarak gerçekleştirilmiş; bu süreçte ön plana çıkan çalışmalar ve bu çalışmaların dikkat çeken bulgularına aşağıda yer verilmiştir.

COVID-19 pandemisinin havacılık sektörüne etkilerini inceleyen çalışmalar, küresel ölçekte ciddi yapısal dönüşümler ve sektörel kırılmalıkları ortaya koymaktadır. Suau-Sanchez vd. (2020), pandeminin küresel havacılık ağlarında derin yapısal bozulmalara neden olduğunu ve yolcu trafiğinde %90'a varan bir azalmaya yol açtığını saptamıştır. Özellikle uluslararası uçuşların durma noktasına gelmesinin küresel hava taşımacılığında merkezi bir işlev gören hub-and-spoke sisteminin etkinliğini zayıflattığını ve havacılık ağlarının bağlantısallığını önemli ölçüde sekteye uğrattığını vurgulamışlardır. Benzer şekilde, Sun vd. (2020) de havacılık ağını kompleks bir sistem olarak ele almış ve COVID-19'un bu sistemdeki bağlantısallık düzeyini dramatik biçimde azalttığını ortaya koymuştur.

Havalimanı operasyonlarına odaklanan çalışmalarda da krizin çok yönlü etkiler oluşturduğuna yönelik iddialar dikkat çekmektedir. Örneğin Serrano & Kazda (2020) ile Shih-Pin ve Chun-Shao'ya (2025), toparlanma sürecinde havalimanlarının hem kapasite sınırlamaları hem de sıkılaştırılan güvenlik önlemleri nedeniyle hizmet kalitesinde kayıplar yaşadığını vurgulamışlardır. Buna ek olarak, Hatipoğlu (2024) ile He vd. (2024), iç hat pazarlarının uluslararası pazarlara kıyasla daha hızlı toparlandığını ve hava kargo taşımacılığının yolcu taşımacılığına göre daha dayanıklı bir yapı sergilediğini tespit etmiştir.

Havayolu şirketlerinin finansal yapısına ilişkin çalışmalar ise pandemiyle birlikte sektörün ciddi bir mali darboğaza sürüklendiğini göstermektedir. Dube vd. (2021) ile

Gudmundsson vd. (2021), birçok havayolu şirketinin iflas, borçlanma artışı ve yeniden yapılandırma süreçleri ile karşı karşıya kaldığını ortaya koyarken; Huderek-Glapska ve Antczak (2025), sektörde artan belirsizlik ve risk algısının finansal karar alma süreçleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu ileri sürmüştür.

Türkiye özelinde yürütülen çalışmalar da benzer bulgular sunmaktadır. Ay vd. (2023), pandeminin Borsa İstanbul'da işlem gören Türk havayolu şirketlerinin risk göstergelerinde artışa, hisse senedi getirilerinde ise azalışa yol açtığını raporlamıştır. Özdemir ve Akçakanat (2021) ise Türkiye'de havayolu taşımacılığı sektöründe yolcu sayısının %60'ın üzerinde bir oranda düştüğünü ve şirketlerin borç yüklerinde kayda değer artışlar yaşandığını tespit etmiştir. Kurt ve Kablan (2022) ise THY ve Pegasus özelinde finansal kırılganlıkları ele alarak, Pegasus'un filo ve maliyet yapısının THY'ye kıyasla pandemiden daha olumsuz etkilendiğini vurgulamıştır.

Sektörün kriz yönetimi pratiklerine ilişkin literatürde de önemli bulgular yer almaktadır. Sucu (2021), THY'nin pandemi sürecinde filo optimizasyonu ve kargo taşımacılığına yönelerek mali göstergelerinde görece bir iyileşme sağladığını belirtmiştir. Genç ve Işıktaş (2022) ise sektör yöneticilerinin krize esnek ve proaktif stratejilerle yanıt verdiklerini, özellikle SWOT analizine dayalı karar alma mekanizmalarıyla süreci etkin bir şekilde yönettiklerini ortaya koymuştur.

Toparlanma sürecine odaklanan araştırmalar ise iyimser ancak temkinli bir tablo çizmektedir. Aman ve Altass (2021), Türk havacılık sektörünün pandemi sonrası dönemde kademeli bir iyileşme sürecine girdiğini, ancak pandemi öncesi seviyelere ulaşmanın orta vadede mümkün olabileceğini ileri sürmüştür. Dayı ve Mousa (2024) ise 2022 yılı itibarıyla THY ve Pegasus'un pandemi kaynaklı kayıplarını önemli ölçüde telafi ettiğini ve özellikle THY'nin hasılatında %314, Pegasus'un ise %288 oranında artış kaydedildiğini saptamıştır.

COVID-19 pandemisi, küresel ve ulusal havacılık sektörlerinde ciddi operasyonel ve finansal zorluklara yol açmış ve sektörün krizlere karşı dayanıklılığını önemli ölçüde sınamıştır (Macit ve Macit, 2020). Türkiye özelinde ise iç hat talebindeki artış ve turizm kaynaklı dış talep desteği, toparlanma sürecinin küresel örneklerle kıyasla daha hızlı gerçekleşmesine katkı sağlamıştır (Şen ve Bütün, 2021). Literatürde de görüldüğü üzere, Türk havacılık sektörü, kriz yönetimi ve toparlanma süreçlerinde esnek ve maliyet odaklı stratejiler benimseyerek pandeminin olumsuz etkilerini hafifletmeye çalışmıştır. Bu bağlamda çalışma kapsamında Türkiye'de faaliyet gösteren ve Borsa İstanbul Ulaştırma Endeksi (BİST Ulaştırma) kapsamında işlem gören havacılık işletmelerinin toparlanma süreci, faaliyet sonuçlarına dayalı olarak ilgili finansal oranlar üzerinden değerlendirilmiş ve işletmelerin bu süreci ne ölçüde başarılı yönettiği ortaya konularak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde, çalışmada kullanılan veri seti ve değerlendirme sürecinde başvuru yöntemler ayrıntılı bir biçimde incelenerek analiz sürecinin metodolojik çerçevesi ortaya konmuştur. Bu doğrultuda öncelikle çalışmada kullanılan veri seti detaylandırılarak sunulmuş, ardından analiz sürecinde yararlanılan yöntemlerin teorik temelleri ve uygulama aşamaları kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Veri Seti

Çalışma kapsamında, havacılık şirketlerinin COVID-19 sonrası toparlanma süreçleri, çeşitli finansal göstergeler temelinde değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, şirketlerin finansal performanslarını analiz etmek amacıyla belirlenen göstergeler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Değerlendirme Kriterleri ve Tanımlanan Kodları

Kriterler	Amaç	Kod
Cari Oran	j^{max}	CO
Nakit Oranı	j^{max}	NO
Asit Test Oranı	j^{max}	LO
Aktif Devir Hızı	j^{max}	ADH
Öz Sermaye Kârlılığı	j^{max}	ÖK
Net Kârlılık	j^{max}	NK
Faaliyet Kârlılığı	j^{max}	FK
Aktif Kârlılık	j^{max}	AK
Finansal Kaldıraç Oranı	j^{min}	FKO

Değerlendirme sürecinde tercih edilen finansal göstergeler, havacılık şirketlerinin COVID-19 sonrası ekonomik dayanıklılıklarını ve sürdürülebilir büyüme potansiyellerini yansıtmaya işlevleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu göstergeler, şirketlerin likidite, kârlılık ve finansal risk düzeylerini analiz etmeye olanak tanıyarak, toparlanma süreçlerinin ne ölçüde sağlıklı ilerlediğini değerlendirmeye imkân sağlamaktadır. Cari oran, nakit oranı ve likidite oranı, şirketlerin kısa vadeli yükümlülüklerini karşılama kapasitelerini ortaya koyarak likidite durumlarının değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Aktif devir hızı, şirketlerin varlıklarını ne kadar etkin kullandığını gösterirken, öz sermaye kârlılığı, net kârlılık, faaliyet kârlılığı ve aktif kârlılık gibi göstergeler, şirketlerin kârlılık performanslarını yansıtırken, finansal kaldıraç oranı, şirketlerin borçlanma düzeylerini ve finansal risklerini göstermektedir.

Değerlendirmeye, BİST Ulaştırma Endeksi'nde işlem gören havacılık şirketleri olan Çelebi Havacılık Holding A.Ş. (CLEBI), Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş. (PGSUS) ve Türk Hava Yolları A.O. (THYAO) alınmıştır. Bu şirketlerin çalışma kapsamında belirlenen finansal göstergelere ilişkin skorları, Kamuoyu Aydınlatma Platformu (KAP) aracılığıyla kamuya açık bir şekilde yayımlanan finansal raporlar temel alınarak hesaplanmıştır. 2022 ve 2023 yılları tam yıl verileri üzerinden değerlendirilirken, çalışmanın yürütüldüğü tarih itibarıyla şirketlerin tamamı 2024 yılı 4. çeyrek verilerini henüz açıklamadığından 2024 yılına ilişkin hesaplamalar, 3. çeyrek itibarıyla yayımlanan yıllıklandırılmış veriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hesaplama sonuçları, Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Havacılık Şirketlerinin Değerlendirme Kriterlerine İlişkin Yıl Bazlı Skorları

Şirket	Yıl	CO	NO	LO	ADH	ÖK	NK	FK	AK	FKO
CLEBI	2022	1,4923	0,9567	1,4621	0,7542	0,5209	0,1797	0,2594	0,1598	0,5961
	2023	1,2583	0,7750	1,2201	0,7208	0,4490	0,1535	0,2541	0,1442	0,6540
	2024	1,1800	0,6408	1,1544	0,8877	0,5628	0,1702	0,1997	0,1535	0,6322
PGSUS	2022	0,9980	0,6175	0,9738	0,4460	0,5700	0,1662	0,2264	0,0955	0,8116
	2023	1,2909	0,9309	1,2516	0,3492	0,5751	0,2964	0,1855	0,1404	0,7293
	2024	1,2779	0,9934	1,2527	0,3714	0,4182	0,2259	0,1550	0,0517	0,7271
THYAO	2022	0,8770	0,5706	0,8368	0,5378	0,3487	0,1524	0,1569	0,1017	0,6864
	2023	0,9441	0,6650	0,8980	0,4803	0,5104	0,3232	0,1416	0,2002	0,5642
	2024	0,9737	0,6114	0,9289	0,5153	0,3792	0,2614	0,0900	0,0771	0,5308

Tablo 2, araştırmaya konu olan şirketlerin son 3 yıla ilişkin finansal göstergelerini yansıtmaktadır. Veriler incelendiğinde üç şirketin de dönemsel olarak finansal göstergelerinde dalgalanmalar yaşandığı görülmektedir. Özellikle CO, NO ve LO oranlarında belirgin değişimler gözlemlenirken, FK ve AK gibi kârlılık göstergelerinde de şirketler arasında farklı eğilimler dikkat çekmektedir. Bununla birlikte 2024 yılına ilişkin veriler, yalnızca üçüncü çeyrek itibarıyla kamuya açıklanmış yıllıklandırılmış finansallara dayandığı için bu yıl özelinde elde edilen bulguların yorumlanmasında sınırlı bir güven düzeyiyle yaklaşmak gerekmektedir. Bu durum, özellikle yılsonu dönemlerinde oluşabilecek finansal dalgalanmaların sonuçlara yansıtılamaması gibi metodolojik bir sınırlılığı beraberinde getirmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan veriler, KAP aracılığıyla kamuoyuyla paylaşılan finansal raporlardan derlendiğinden, veri setinin doğruluğu ve güncelliği ilgili şirketlerin beyanları çerçevesinde ele alınmıştır. Dolayısıyla çalışmada elde edilen bulguların ilgili kaynaklara bağlı olarak şekillendiği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada tercih edilen finansal oranlar, literatürde yaygın kullanılan ve şirketlerin likidite, kârlılık ve finansal yapılarına dair doğrudan bilgi sunan göstergeler arasından seçilmiştir. Tobin's Q, ROA ve Net Borç/Özsermaye gibi diğer göstergeler ise veri erişilebilirliği, karşılaştırılabilirlik ve sektörel temsil kabiliyetine dair zayıflıkları nedeniyle çalışmaya dâhil edilmemiştir. Bununla birlikte bu göstergelerin yer almadığı, gelecekteki çalışmalarda farklı oran kombinasyonlarıyla modelin test edilmesi önerilmektedir.

3.2. Entropy Yöntemi

Entropy kavramı, termodinamik bağlamda ele alınmakla birlikte, karar verme süreçlerinde de önemli bir yöntem olarak literatürde yerini almıştır. Özellikle Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) alanında, mevcut veri setinin içerdiği yararlı bilgi miktarını belirlemek amacıyla kullanılan Entropy yöntemi, kriter ağırlıklarının objektif olarak hesaplanmasına olanak tanımaktadır (Wu vd., 2011; Çakır ve Perçin, 2013). Entropy yöntemi, veri kümelerindeki farklılıkların büyüklüğüne dayalı olarak kriterlere ilişkin nesnel ağırlıkların belirlenmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda Entropy yöntemine göre bir kriterin veriler arasındaki değişkenliği ne kadar büyükse, söz konusu kriterin ağırlığı da o denli yüksek olmaktadır (Ömürbek vd., 2016). Dolayısıyla, entropi yöntemi, matematiksel denklemler aracılığıyla verilerden elde edilen bilgiyi amaca yönelik olarak işleyerek, karar süreçlerinde yansız (non-bias) bir yaklaşım sunan nesnel bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Ali vd. 2019). Bu yöntem, bilgi içindeki belirsizliği ele almakta ve karar vericilerin sübjektif yargılarından bağımsız bir değerlendirme sunmaktadır. (Abdullah ve Otheman, 2013). Entropy yönteminin bu özelliği, bu çalışmada değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesinde tercih edilmesini sağlamıştır. Yöntemin işlem adımları aşağıda yer almaktadır (Wang ve Lee, 2009; Akgül, 2019; Topal, 2021):

1.Adım: n sayıda kriter altında m alternatif için bir karar matrisi oluşturulur. Bu matris, 1 numaralı eşitlik formunda ifade edilmektedir. Karar matrisi, her alternatifin belirlenen kriterlere göre sahip olduğu değerleri içeren bir yapıdır ve entropi yöntemi çerçevesinde kriter ağırlıklarının hesaplanmasında temel veri kaynağı olarak kullanılmaktadır.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Burada $i=1,2, \dots, m$ ve $j=1,2, \dots, n$ olmak üzere her x_{ij} i alternatifinin j kriterine ilişkin sahip olduğu değeri göstermektedir.

2. Adım: Karar matrisi elemanları, fayda ve maliyet durumlarına göre standartlaştırılarak normalize edilir. Standartlaşma işlemi esnasında fayda yönlü kriterler için 2 numaralı eşitlik, maliyet yönlü kriterler için ise 3 numaralı eşitlik kullanılır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{ij}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_{ij}}{x_{ij}} \quad (3)$$

Standartlaştırılan kriterler, 4 numaralı eşitlik yardımıyla normalize edilerek Standardize Edilmiş Normalizasyon Matrisi elde edilir.

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (4)$$

3. Adım: 5 numaralı eşitlik yardımıyla Entropy katsayısı, 6 numaralı eşitlik yardımıyla da her bir kriterin veri setindeki belirsizliğini ifade eden Entropy değeri hesaplanır.

$$k = (\ln(m))^{-1} \quad (5)$$

$$e_j = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (6)$$

4. Adım: Hesaplanan Entropy değerleri göz önünde bulundurularak 7 numaralı eşitlik yardımıyla her bir kriterin farklılaşma dereceleri belirlenir.

$$d_j = 1 - e_j \quad (7)$$

5. Adım: 8 numaralı eşitlik yardımıyla her bir kriterin ağırlığı hesaplanır.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (8)$$

Entropy yöntemi her ne kadar nesnel ağırlıklandırma konusunda avantaj sağlasa da verilerin dağılım yapısına karşı duyarlı olması ve karar vericilerin uzmanlık görüşünü dışlaması gibi sınırlılıkları da bulunmaktadır. Bu nedenle, araştırmanın bulguları yorumlanırken yöntemin söz konusu sınırlılıkları dikkate alınmalıdır.

3.3. WASPAS Yöntemi

WASPAS yöntemi, ÇKKV problemlerinde yaygın olarak kullanılan Ağırlıklandırılmış Toplam Modeli (WSM) ile Ağırlıklandırılmış Çarpım Modeli'nin (WPM) birleşimine dayanmaktadır (Zolfani vd., 2013). Zavadskas vd. (2012) tarafından geliştirilen bu yöntem, alternatiflerin kriterler bazındaki performans değerlerini ve kriter ağırlıklarını dikkate alarak alternatiflerin sıralanmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, ağırlıklı bütünleştirilmiş fonksiyonu optimize etme prensibiyle yüksek tutarlılık düzeyine

ulaşmayı hedeflemektedir (Lashgari vd., 2014). Nitekim Zavadskas vd. (2012), yöntemin duyarlılık analizini çözüm sürecinin doğal bir parçası olarak gerçekleştirdiğini ve bu özelliğin daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağladığını belirtmektedir. WASPAS yönteminin diğer analiz yöntemlerine kıyasla daha doğru ve tutarlı çıktılar ürettiği çeşitli çalışmalarda ortaya konmuş olup, bu yönüyle etkin bir karar verme aracı olarak kabul görmektedir. Yöntemin çözüm adımları aşağıdaki gibidir (Zavadskas vd., 2012);

1. Adım: Alternatiflerin, belirlenen kriterler doğrultusunda performanslarını yansıtacak şekilde bir karar matrisi oluşturulur. Bu matrisin her bir elemanı (x_{ij}), ilgili alternatifin (i) belirli bir kriter (j) açısından sahip olduğu değeri ifade etmektedir ve 9 numaralı eşitlik formuna sahiptir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

2. Adım: Alternatiflerin değerlendirilmesinde ölçüm birimlerinden ve ölçek farklılıklarından kaynaklanan etkileri ortadan kaldırmak amacıyla karar matrisi normalize edilir. Bu süreçte, fayda kriterleri için 10 numaralı eşitlik, maliyet kriterleri için 11 numaralı eşitlik kullanılır. Elde edilen yeni matris, 12 numaralı eşitlik formuna sahiptir.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (10)$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (11)$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

3. Adım: Alternatiflerin değerlendirme puanları, ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu işlem esnasında 13 numaralı eşitlikten yararlanılır.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \times w_j \quad (13)$$

Bu işlemde kriter ağırlıkları ile normalize edilmiş değerler çarpılarak alternatiflerin ağırlıklı toplam yöntemiyle değerlendirme puanları hesaplanmış olur.

4. Adım: Alternatiflerin değerlendirme puanları, ağırlıklı çarpım yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu işlem esnasında 14 numaralı eşitlikten yararlanılır.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^{w_j} \quad (14)$$

Bu işlemle alternatiflerin ağırlıklı çarpım yöntemiyle değerlendirme puanları hesaplanmış olur.

5. Adım: Alternatiflerin ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım yöntemleriyle hesaplanan değerlendirme puanları 15 numaralı eşitlik yardımıyla birleştirilerek her alternatifin nihai ağırlıklı kriter değeri hesaplanır.

$$Q_i = 0,5Q_i^{(1)} + 0,5Q_i^{(2)} \\ = \left[0,5 \times \left(\sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \times w_j \right) \right] + \left[0,5 \times \left(\prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^{w_j} \right) \right] \quad (15)$$

Bütünleştirme işleminde ağırlıklı toplam ve ağırlıklı çarpım yöntemlerine eşit önem verilmek istenmediğinde ise 16 numaralı eşitlik kullanılmaktadır.

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda)Q_i^{(2)} \\ = \left[\lambda \times \left(\sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} \times w_j \right) \right] + (1 - \lambda) \left[0,5 \times \left(\prod_{j=1}^n \bar{x}_{ij}^{w_j} \right) \right] \quad (16)$$

WASPAS yöntemi, ağırlıklı toplama ve çarpım modellerini entegre ederek karar verme sürecine güçlü bir analiz kapasitesi kazandırsa da kriterler arası bağımlılıkları göz ardı eden bir yaklaşıma sahiptir. Bu durum WASPAS yönteminin yapısal bir sınırlılığı olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, araştırmanın bulguları değerlendirilirken söz konusu metodolojik sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı metodolojiye sahip yöntemlerin kullanılması halinde sonuçların da farklılıklar gösterebileceği unutulmamalıdır.

4. UYGULAMA

Değerlendirme sürecinin başlangıç aşamasında, kriterlerin ağırlıkları Entropy yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle havacılık şirketlerinin Tablo 2’de gösterilen skorları, kriterlerin hedefleri dikkate alınarak Entropy yöntemi çerçevesinde 2 ve 3 numaralı eşitlikler yardımıyla normalize edilmiştir. Daha sonra, 4 numaralı eşitlik kullanılarak yıllık bazda standartlaştırılmış normalizasyon matrisleri oluşturulmuştur. Elde edilen matrisler, yıl bazlı olarak Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 3. Yıl Bazında Standartlaştırılmış Entropy Normalizasyon Matrisleri

Yıl	Şirketler	CO	NO	LO	ADH	ÖK	NK	FK	AK	FKO
2022	CLEBI	-0,3607	-0,3601	-0,3600	-0,3623	-0,3678	-0,3678	-0,3662	-0,3598	-0,3675
	PGSUS	-0,3604	-0,3585	-0,3607	-0,3490	-0,3668	-0,3662	-0,3675	-0,3527	-0,3570
	THYAO	-0,3504	-0,3523	-0,3487	-0,3630	-0,3434	-0,3623	-0,3442	-0,3577	-0,3662
2023	CLEBI	-0,3678	-0,3655	-0,3678	-0,3561	-0,3596	-0,3210	-0,3617	-0,3607	-0,3655
	PGSUS	-0,3679	-0,3671	-0,3679	-0,3357	-0,3678	-0,3676	-0,3645	-0,3589	-0,3598
	THYAO	-0,3536	-0,3566	-0,3524	-0,3630	-0,3661	-0,3646	-0,3440	-0,3652	-0,3677
2024	CLEBI	-0,3671	-0,3578	-0,3672	-0,3465	-0,3651	-0,3498	-0,3595	-0,3313	-0,3655
	PGSUS	-0,3679	-0,3608	-0,3678	-0,3274	-0,3626	-0,3671	-0,3674	-0,3109	-0,3575
	THYAO	-0,3574	-0,3542	-0,3560	-0,3591	-0,3561	-0,3667	-0,3233	-0,3545	-0,3673

Standartlaştırılmış normalizasyon matrislerinin oluşturulmasının ardından 5 numaralı eşitlik kullanılarak Entropy katsayısı hesaplanmış ve 0,9102 olarak belirlenmiştir. Bu işlemi takiben 6 numaralı eşitlik yardımıyla göstergelere ilişkin Entropy değerleri (ej) ve 7 numaralı eşitlik yardımıyla göstergelerin farklılaşma dereceleri (dj) belirlenmiştir. Son olarak farklılaşma dereceleri doğrultusunda 8 numaralı eşitlik yardımıyla göstergelerin Entropy ağırlıkları (wj) hesaplanmıştır. Elde edilen Entropy değerleri (ej), farklılaşma dereceleri (dj) ve Entropy ağırlıkları (wj) yıl bazında Tablo4’te sunulmuştur.

Tablo 4. Değerlendirme Kriterlerine İlişkin ej, dj ve wj Değerleri

Şirket	Yıl	CO	NO	LO	ADH	ÖK	NK	FK	AK	FKO
ej	2022	0,9753	0,9747	0,9734	0,9779	0,9813	0,9979	0,9812	0,9742	0,9929
	2023	0,9915	0,9914	0,9904	0,9602	0,9954	0,9586	0,9742	0,9874	0,9949
	2024	0,9943	0,9766	0,9931	0,9402	0,9866	0,9863	0,9560	0,9072	0,9924
dj	2022	0,0247	0,0253	0,0266	0,0221	0,0187	0,0021	0,0188	0,0258	0,0071
	2023	0,0085	0,0086	0,0096	0,0398	0,0046	0,0414	0,0258	0,0126	0,0051
	2024	0,0057	0,0234	0,0069	0,0598	0,0134	0,0137	0,0440	0,0928	0,0076
Wj	2022	0,1443	0,1476	0,1555	0,1293	0,1090	0,0120	0,1098	0,1508	0,0417
	2023	0,0545	0,0553	0,0613	0,2553	0,0296	0,2652	0,1655	0,0808	0,0325
	2024	0,0213	0,0877	0,0258	0,2236	0,0503	0,0511	0,1647	0,3472	0,0284

Tablo 4’te yer alan hesaplama sonuçları, yıllar itibarıyla finansal göstergelerin önem derecelerinde kayda değer değişimler yaşandığını ortaya koymaktadır. 2022 yılında finansal oranlar arasında daha dengeli bir dağılım gözlemlenirken, 2023 ve 2024 yıllarında belirli kriterlerin karar sürecindeki etkisinin arttığı görülmektedir. Özellikle aktif devir hızı (ADH), net kârlılık (NK) ve aktif kârlılığı (AK) kriterleri, havayolu şirketlerinin operasyonel ve finansal verimliliklerini ölçmede kritik rol oynamıştır. 2023

yılında ADH ve NK, sektörün toparlanma sürecinde en belirleyici faktörler olarak öne çıkarken, 2024 yılında aktif kârlılığı (AK) en yüksek ağırlığa sahip kriter haline gelmiştir. Bu durum, havayolu şirketlerinin toparlanma sürecinde önce operasyonel verimliliklerini artırmaya odaklandıklarını, ardından kârlılıklarını maksimize etme stratejisine yöneldiklerini göstermektedir.

Değerlendirme işleminin ikinci aşamasında araştırmaya konu olan şirketlerin covid-19 sonrası toparlanma süreçlerine dair performansları WASPAS yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu doğrultuda ilk olarak şirketlerin değerlendirme kriterlerine ilişkin yıl bazlı skorları, kriterlerin amaçları göz önünde bulundurularak 10 ve 11 numaralı eşitlikler yardımıyla normalize edilmiştir. Normalizasyon sonrası elde edile matrisler yıl bazlı olarak Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. WASPAS Yöntemine İlişkin Normalize Karar Matrisleri

Yıl	Şirketler	CO	NO	LO	ADH	ÖK	NK	FK	AK	FKO
2022	CLEBI	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9139	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	PGSUS	0,6687	0,6455	0,6660	0,5914	1,0000	0,9249	0,8729	0,5976	0,7344
	THYAO	0,5877	0,5965	0,5723	0,7131	0,6118	0,8481	0,6047	0,6364	0,8684
2023	CLEBI	0,9747	0,8325	0,9748	1,0000	0,7807	0,4749	1,0000	0,7203	0,8627
	PGSUS	1,0000	1,0000	1,0000	0,4845	1,0000	0,9171	0,7302	0,7013	0,7736
	THYAO	0,7313	0,7144	0,7174	0,6664	0,8875	1,0000	0,5572	1,0000	1,0000
2024	CLEBI	0,9234	0,6451	0,9216	1,0000	1,0000	0,6511	1,0000	1,0000	0,8396
	PGSUS	1,0000	1,0000	1,0000	0,4184	0,7431	0,8642	0,7764	0,3368	0,7301
	THYAO	0,7620	0,6155	0,7415	0,5805	0,6738	1,0000	0,4507	0,5023	1,0000

Normalizasyon işleminin tamamlanmasının ardından WASPAS yöntemi işlem adımları doğrultusunda 13 numaralı eşitlik yardımıyla araştırmaya konu olan şirketlerin yıl bazlı ağırlıklı toplam değerlendirme puanları, 14 numaralı eşitlik yardımıyla da ağırlıklı çarpım değerlendirme puanları hesaplanmıştır. Bu işlemin ardından her iki yönetime ilişkin sonuçların önem düzeyleri eşit kabul edilerek 15 numaralı eşitlik yardımıyla şirketlerin yıl bazlı nihai değerlendirme puanları hesaplanarak sıralamaları yapılmıştır. Söz konusu işlemlere ilişkin sonuçlar, Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6'dan anlaşılacağı üzere CLEBI, tüm yıllarda en yüksek nihai değerlendirme puanına sahip olarak sektörde en güçlü performansı sergileyen şirket olmuştur. 2022 yılında PGSUS, THYAO'ya kıyasla daha yüksek bir değerlendirme puanı elde ederek ikinci sırada yer alırken, 2023 yılında THYAO'nun performansında artış gözlemlenmiş ve bu şirket ikinci sıraya yükselmiştir. 2024 yılı itibarıyla THYAO, sıralamadaki yerini korurken PGSUS'un değerlendirme puanında belirgin bir düşüş yaşanmış ve şirket üçüncü sıraya gerilemiştir. CLEBI'nin 2023 yılında performansında kısmi bir düşüş gözlemlenmesine

rağmen, 2024 yılında yeniden yükselişe geçtiği görülmektedir. Genel olarak, CLEBI sektöründe en istikrarlı ve başarılı performansı sergileyen şirket olarak öne çıkarken, PGSUS’un 2024 yılındaki finansal gerilemesi dikkat çekmektedir.

Tablo 6. Şirketlerin Yıl Bazlı Değerlendirme Puanları ve Görece Sıralamaları

Yıl	Şirketler	$Q_i^{(1)}$	$Q_i^{(2)}$	Q_i	Sıra
2022	CLEBI	0,9906	0,9902	0,9904	1
	PGSUS	0,7085	0,6976	0,7030	2
	THYAO	0,6295	0,6261	0,6278	3
2023	CLEBI	0,8150	0,7794	0,7972	1
	PGSUS	0,7703	0,7430	0,7567	3
	THYAO	0,7905	0,7711	0,7808	2
2024	CLEBI	0,9429	0,9332	0,9380	1
	PGSUS	0,5754	0,5243	0,5499	3
	THYAO	0,5811	0,5667	0,5739	2

Elde edilen bulgular, havayolu şirketlerinin covid-19 sonrası toparlanma süreçlerinde farklı stratejiler izlediğini ve finansal performans göstergelerinin zaman içinde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ

COVID-19 pandemisi, küresel havacılık sektörü üzerinde tarihsel olarak eşi benzeri görülmemiş bir etki yaratarak sektörün hem operasyonel hem de finansal dinamiklerini köklü biçimde sarsmıştır. Pandemi süresince uygulanan seyahat kısıtlamaları ve sınır kapatma önlemleri, uluslararası ve iç hat uçuşlarının büyük oranda askıya alınmasına yol açarak küresel yolcu talebinde %60’ın üzerinde, uçuş hacminde ise %50’den fazla düşüş yaşanmasına neden olmuştur. Bu olağanüstü gerileme, sektörde mali yapıları zayıflatan borçlanma artışlarını ve operasyonel daralmaları beraberinde getirmiştir. Pandeminin şok etkisinin ardından sektör küresel ölçekte kademeli bir toparlanma sürecine girmiş; hava kargo taşımacılığı gibi segmentlerin dirençli yapısı ve iç hat pazarlarının daha hızlı canlanması, toparlanma eğilimlerini desteklemiştir. Bu süreçte havayolu şirketleri operasyonel esneklik, maliyet yönetimi ve finansal yeniden yapılandırma gibi stratejiler geliştirerek, pandeminin yol açtığı hasarları onarma ve finansal dayanıklılığı artırma yönünde çeşitli politikalar benimsemişlerdir. Türkiye, kriz sürecinde hayata geçirdiği esnek ve uyarlanabilir stratejiler ile küresel ölçekte ön plana çıkan ülkelerden biri olmuştur.

Bu çalışmada söz konusu küresel eğilimlerin Türkiye özelinde ne şekilde tezahür ettiğini detaylı bir şekilde irdeleyebilmek adına Borsa İstanbul Ulaştırma endeksinde işlem gören havacılık işletmelerinin pandemi sonrası toparlanma sürecinde sergiledikleri performanslar ÇKKV yöntemleri aracılığıyla çok boyutlu bir şekilde analiz edilmiştir. Değerlendirme sürecinde, kriter ağırlıkları Entropy yöntemi aracılığıyla nesnel biçimde belirlenmiş; ardından WASPAS yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizle, sektörde faaliyet gösteren şirketlerin toparlanma performansları karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur. Analizler sonucu elde edilen bulgular, Türkiye havacılık sektörünün COVID-19 sonrası dönemde dinamik ve farklılaşan toparlanma eğilimleri sergilediğini göstermiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, Çelebi Hava Servisi A.Ş.'nin 2022-2024 döneminde en yüksek değerlendirme puanlarına ulaşarak sektörde en istikrarlı ve güçlü finansal performansı sergileyen işletme olduğu tespit edilmiştir. Şirketin özellikle aktif devir hızı ve aktif kârlılık gibi operasyonel verimlilik göstergelerinde kaydettiği olumlu performans, bu başarının temel belirleyicisi olarak öne çıkmaktadır. Pandemi sürecinde operasyonel esnekliği artırmaya ve maliyet yönetimini optimize etmeye yönelik hayata geçirilen stratejik uygulamaların, şirketin bu üstün performansında belirleyici bir rol oynadığı değerlendirilmektedir.

Dikkat çeken bir diğer bulgu da Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.'nin sergilediği performanstır. Şirket, pandemi sonrası toparlanma döneminin ilk yıllarında hızlı bir çıkış sergilemesine rağmen, 2024 yılı itibarıyla performansında görece bir gerileme kaydetmiş ve sıralamada üçüncü sıraya düşmüştür. Pegasus'un sıralamadaki gerilemesinde, özellikle iç hat pazarına olan yüksek bağımlılık ve artan operasyonel maliyetlerin kârlılık üzerindeki baskısı etkili olmuştur. Şirket pandemi süreci ve sonrasında yaşanan tüm olumsuzluklara rağmen esnek maliyet yapısı ve düşük maliyetli taşıyıcı modeli sayesinde, sektördeki belirsizlik ortamına karşı kısmi bir direnç sergilemiş ve kısa vadede toparlanma eğilimini korumuştur. Bununla birlikte, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ile geliştirilen stratejik iş birliğinin, şirketin operasyonel verimliliğini artırmaya yönelik önemli bir adım olduğu görülmektedir (Macit & Başar, 2023).

Türk Hava Yolları A.O. ise 2022 yılında son sırada yer almasına karşın 2023 ve 2024 yıllarında performansını artırarak Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.'yi geride bırakmış ve sıralamada ikinci sıraya yükselmiştir. Şirketin özellikle 2023 yılında iç hat ve uzun menzilli hatlardaki kapasite artırımları ve artan dış hat bağlantıları sayesinde gelir tabanını genişleterek aktif kârlılık oranında iyileşme sağlamasının bu yükselişte büyük bir etken olduğu düşünülmektedir. Buna karşın şirket her ne kadar son yıllarda bir ivme yakalamış olsa da finansal kaldıraç oranındaki yüksek seviyelerin, şirketin borçluluk yapısında dikkatli yönetim ihtiyacını gündeme getireceği değerlendirilmektedir.

Genel olarak çalışma bulguları, Türkiye havacılık sektöründe COVID-19 sonrası toparlanma sürecinin homojen olmadığını ve işletmelerin iş modellerine, mali yapılarına ve operasyonel stratejilerine göre farklılaştığını ortaya koymaktadır. Sektörde aktif kârlılık, net kârlılık ve aktif devir hızı gibi göstergelerin özellikle 2023 ve 2024 yıllarında toparlanma performansını belirleyici unsurlar haline geldiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Entropy yöntemi ile hesaplanan ağırlıkların da gösterdiği üzere, toparlanma döneminde şirketlerin operasyonel etkinlik, sermaye kârlılığı ve risk yönetimi kabiliyetleri sektörel performans sıralamalarını doğrudan etkilemiştir. Bu bulgular, finansal performansa dayalı toparlanma stratejilerinin geçici bir iyileşmenin ötesinde sektörel direnç geliştirme sürecine de katkı sunduğunu göstermektedir. Literatürde belirtildiği gibi (örneğin Michelmann vd., 2022; Sun vd., 2023), operasyonel verimliliğin artırılması ve sürdürülebilir finansal yapıların kurulması, kriz sonrası iyileşmede belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır.

Araştırmanın bulguları, havayolu işletmelerinin pandemi sonrası dönemde finansal dayanıklılıklarını artırmak amacıyla operasyonel esnekliği önceleyen, sürdürülebilirlik odaklı yatırımları destekleyen ve maliyet optimizasyonunu hedefleyen stratejiler geliştirmesi gerektiğine işaret etmektedir. Özellikle küresel ölçekte hava kargo taşımacılığına olan talebin artması ve iç hat pazarlarının pandemi sonrası daha hızlı toparlanma eğiliminde olması, sektör için stratejik fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda söz konusu fırsatları iyi bir şekilde değerlendirilerek finansal kaldıraç seviyelerinin düşürülmesi ve borç yapılandırılmalarına yönelik disiplinli adımların atılması, sektördeki şirketlerin uzun vadeli finansal sürdürülebilirliklerini güçlendirecektir.

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmaların, COVID-19 sonrası havacılık sektöründe yalnızca finansal oranlarla sınırlı kalmayarak, insan kaynakları yönetimi, dijitalleşme, sürdürülebilirlik uygulamaları ve müşteri davranışlarındaki değişim gibi daha geniş kapsamlı faktörleri de dikkate alması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca kriz sonrası dönemde havayolu işletmelerinin uyguladığı yenilikçi iş modelleri, esnek fiyatlandırma stratejileri ve sürdürülebilirlik odaklı yatırımların uzun vadeli etkilerinin derinlemesine analiz edilmesi, literatüre önemli katkılar sunacaktır. Bu bağlamda, makroekonomik değişkenler, enerji fiyatları ve regülasyonların sektörel dayanıklılık üzerindeki etkilerinin de gelecekteki çalışmalarda ele alınması, toparlanma dinamiklerine daha bütüncül bir perspektiften yaklaşılmasına imkân tanıyacaktır. Özellikle havayolu işletmeleri arasındaki performans farklılıklarının yapısal nedenlerini ortaya koyan karşılaştırmalı ülke analizleri ile sektörel dayanıklılığın bölgesel ve küresel düzeyde değerlendirilmesi, krize dirençli stratejilerin geliştirilmesi açısından yol gösterici olacaktır. Bununla birlikte önümüzdeki çalışmalarda, farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin veya yapay zekâ

temelli modellemelerin kullanılmasıyla sektördeki toparlanma dinamiklerinin alternatif açılardan da incelenmesi, mevcut literatüre daha geniş kapsamlı katkılar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Abdullah, L., & Otheman, A. (2013). A new entropy weight for sub-criteria in interval type-2 fuzzy TOPSIS and its application. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 5(2), 25.

Akgül, Y. (2019). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle Türk bankacılık sisteminin 2010-2018 yılları arasındaki performansının analizi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(4), 567-582.

Ali, T., Ma, H., & Nahian, A. J. (2019). An analysis of the renewable energy technology selection in the southern region of Bangladesh using a hybrid multi-criteria decision making (MCDM) method. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(4), 1838-1848.

Allroggen, F., Wittman, M. D., & Malina, R. (2015). How air transport connects the world—A new metric of air connectivity and its evolution between 1990 and 2012. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 80, 184-201.

Aman, Q., & Altass, S. (2021). Pre-and Post-COVID-19 condition, performance and future of the airline industry: Evidence from accounting data. *Amazonia Investiga*, 10(37), 9-23.

Ay, Z., Seçme, Z. O., & Topcu, N. (2023). Sürdürülebilirlik Performansı Kovid-19 Salgını Sırasında Havayolu Şirketlerinin Finansal Performansını Nasıl Etkilemiştir?. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 988-1002.

Budd, L., Ison, S., & Adrienne, N. (2020). European airline response to the COVID-19 pandemic—Contraction, consolidation and future considerations for airline business and management. *Research in Transportation Business & Management*, 37, 100578.

Çakır, S., ve Perçin, S. (2013), AB Ülkelerinde Bütünleşik Entropy Ağırlık-TOPSIS Yöntemiyle Ar-Ge Performansının Ölçülmesi. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32(1), 77-93.

Dayı, F., & Mousa, I. R. A. (2024). The impact of the Covid-19 Pandemic on financial performance of airlines' in terms of expenses and profitability: Turkish Airlines and Pegasus. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(51), 73-87.

DHMi. (2022). *2022 Havayolu Sektör Raporu*. Devlet Hava Meydanları İşletmesi.

Dube, K., Nhamo, G., & Chikodzi, D. (2021). COVID-19 pandemic and prospects for recovery of the global aviation industry. *Journal of air transport management*, 92, 102022.

Genç, M., & Işıktaş, S. (2022). COVID-19 pandemi sürecinin Türk havacılık sektörü çalışanlarına ve müşterilerine olan etkileri: SWOT analizi. *International Journal of Arts and Social Studies*, 5(8), 44-65.

Gudmundsson, S. V., Cattaneo, M., & Redondi, R. (2021). Forecasting recovery time in air transport markets in the presence of large economic shocks: COVID-19. *Journal of Air Transport Management*, 91, 102007.

Hatipoğlu, I. (2024). COVID-19'UN etkisi altında Avrupa havacılık sektörü. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26(2), 365-388.

He, H., Wu, H., Tsui, K. W. H., Wang, B., & Fu, X. (2024). Spatiotemporal evolution of air cargo networks and its impact on economic development-An analysis of China's domestic market before and during the COVID-19 pandemic. *Journal of Transport Geography*, 117, 103872.

Huderek-Glaska, S., & Antczak, D. (2025). Attitudes of airline passengers under uncertainty-A case study of the COVID-19 pandemic in Poland. *Journal of Air Transport Management*, 124, 102734.

International Air Transport Association (IATA). (2020). *COVID-19 Global and Regional Impacts – Latest Economic Analysis*.

International Air Transport Association (IATA). (2023a). *Annual Review 2023*.

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2021). *Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation*.

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023). *Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation*.

Kurt, G., & Kablan, A. (2022). Covid-19'un, BiST ulaştırma endeksinde faaliyet gösteren havayolu işletmelerinin finansal performansı üzerindeki etkilerinin, çok kriterli karar verme yöntemleri ile analizi. *İşletme Akademisi Dergisi*, 3(1), 16-33.

Lashgari, S., Antuchevičienė, J., Delavari, A., & Kheirikhah, O. (2014). Using QSPM and WASPAS methods for determining outsourcing strategies. *Journal of Business Economics and Management*, 15(4), 729-743.

Loo, B. P., Ho, H. W., & Wong, S. C. (2005). An application of the continuous equilibrium modelling approach in understanding the geography of air passenger flows in a multi-airport region. *Applied Geography*, 25(2), 169-199.

Macit, A. (2024). Ulaştırma Modlarının Geleceği: Yapay Zekânın Akıllı Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu. *Ege Üniversitesi Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 60-76.

Macit, A., & Basar, M. (2023). The Effects of The Vertical Cooperation Strategy Between Airports and Airlines on The Operating Performance of Airlines. *OPUS Journal of Society Research*, 20(Human Behavior and Social Institutions), 984-1001. <https://doi.org/10.26466/opusjsr.1348252>

Macit, A., & Macit, D. (2020). Türk sivil havacılık sektöründe Covid-19 pandemisinin yönetimi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(4), 100-116.

Michelmann, J., Schmalz, U., Becker, A., Stroh, F., Behnke, S., & Hornung, M. (2022). Influence of COVID-19 on air travel - A scenario study toward future trusted aviation. *Journal of Air Transport Management*, 105, 102325.

Ömürbek, N., Karaatlı, M., & Balci, H. F. (2016). Entropi temelli MAUT ve SAW yöntemleri ile otomotiv firmalarının performans değerlemesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(1), 227-255.

Özdemir, Ü. O., & Akçakanat, Ü. Ö. (2021). COVID-19 pandemisinin turizm ve havayolu sektörlerine mali etkileri üzerine bir araştırma. *Mali Çözüm Dergisi*, 31, 89-120.

Ramlall, I. (2025). Unravelling the impact of COVID-19 on airline financial health in the world: insights from Chernoff faces technique. *Journal of Accounting & Organizational Change*.

Serrano, F., & Kazda, A. (2020). The future of airports post COVID-19. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101900.

Shih-Pin, C., & Chun-Shao, C. (2025). Measuring the efficiency and productivity changes in international airports before and during the COVID-19 pandemic. *Transport Policy*.

Suau-Sanchez, P., Voltes-Dorta, A., & Cugueró-Escofet, N. (2020). An early assessment of the impact of COVID-19 on air transport: Just another crisis or the end of aviation as we know it? *Journal of Transport Geography*, 86, 102749.

Sucu, M. (2021). COVID-19 Salgını döneminde havacılık sektöründe kriz yönetimi: Türk Havayolları (THY) özelinde bir durum çalışması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 13(3), 2863-2884.

Sun, X., Wandelt, S., & Zhang, A. (2020). How did COVID-19 impact air transportation? A first peek through the lens of complex networks. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101928.

Sun, X., Wandelt, S., & Zhang, A. (2023). A data-driven analysis of the aviation recovery from the COVID-19 pandemic. *Journal of Air Transport Management*, 109, 102401.

Şen, G., & Bütün, E. (2021). Covid-19'un Pandemi Salgınının Havacılık Sektörüne Etkisi: Gig Ekonomisi Alternatifi. *Journal of Aviation Research*, 3(1), 106-127.

Tanrıverdi, G., Ecer, F., & Durak, M. Ş. (2022). Exploring factors affecting airport selection during the COVID-19 pandemic from air cargo carriers' perspective through the triangular fuzzy Dombi-Bonferroni BWM methodology. *Journal of Air Transport Management*, 105, 102302.

Topal, A. (2021). Çok kriterli karar verme analizi ile elektrik üretim şirketlerinin finansal performans analizi: Entropi tabanlı Cocosmo yöntemi. *Business & Management Studies: An International Journal*, 9(2), 532-546.

Wang, T. C., & Lee, H. D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985.

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.

Wu, X., Wang, K., Fu, X., Dong, K., Sun, X., & Oum, T. H. (2025). How does COVID-19 pandemic affect airline's route choice and market contact?– Full-service carriers vs. low-cost carriers in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 191, 104291.

Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Antucheviciene, J., Zakarevicius, A. (2012), Optimization of weighted aggregated sum product assessment. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 122(6), 3-6.

Zhang, L., Gong, J., & Yang, Y. (2025). How has the COVID-19 pandemic reshaped the aviation network? A comparative pre-and during-pandemic analysis. *Transport Policy*, 160, 228-244.

Zolfani, S. H., Aghdaie, M. H., Derakhti, A., Zavadskas, E. K., & Varzandeh, M. H. M. (2013). Decision making on business issues with foresight perspective; an application of

new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Systems with Applications*, 40(17), 7111-7121.



EGE ÜNİVERSİTESİ
Ulaştırma Yönetimi Araştırmaları Dergisi
Journal of Transportation Management Research
<https://jotmar.ege.edu.tr/>

Geliş/Received: 02.04.2025 Kabul/Accepted: 29.04.2025
Araştırma Makalesi

Yapay Zeka Sistemlerinin Küresel Tedarik Zinciri Entegrasyonu Ve Performansına Etkileri Üzerine Bir Araştırma*

Eda Nur ÇELİK¹

Özet

Bu çalışma, yapay zekâ sistemlerinin küresel tedarik zinciri entegrasyonu ve performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Literatür taramasına dayalı olarak gerçekleştirilen araştırmada, yapay zekânın tedarik zincirinde karar alma süreçlerini hızlandırdığı, operasyonel verimliliği artırdığı ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağladığı ortaya konmuştur. Yapay zekâ teknolojileri, talep tahmini, stok yönetimi, rota optimizasyonu ve risk analizi gibi kritik alanlarda şirketlere maliyet tasarrufu ve rekabet avantajı sunmaktadır. Bununla birlikte, yapay zekânın etkili bir şekilde uygulanabilmesi; veri kalitesi, teknolojik altyapı, insan faktörü ve organizasyonel adaptasyon gibi unsurların bir arada ele alınmasını gerektirmektedir. Çalışmanın bulguları, yapay zekâ destekli sistemlerin yalnızca operasyonel iyileştirmeler sağlamakla kalmadığını, aynı zamanda küresel tedarik zincirlerinin şeffaflığını, esnekliğini ve dayanıklılığını artırarak stratejik bir dönüşüm sunduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, tedarik zinciri yönetiminde teknolojik adaptasyonu teşvik eden ve sürdürülebilirlik hedeflerini önceliklendiren stratejilerin önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, hem akademik literatüre hem de iş dünyasına önemli katkılar sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, tedarik zinciri, küresel entegrasyon, operasyonel verimlilik, sürdürülebilirlik.

Artificial Intelligence Systems and Their Impact On Global Supply Chain Integration and Performance

Abstract

This study examines the impact of artificial intelligence (AI) systems on global supply chain integration and performance. Based on a literature review, the research reveals that AI accelerates decision-making processes, enhances operational efficiency, and contributes to sustainability goals in supply chain management. AI technologies offer cost savings and competitive advantages to companies in critical areas such as demand forecasting, inventory management, route optimization, and risk analysis. However, the effective implementation of AI requires the simultaneous consideration of data quality, technological infrastructure, human factors, and organizational adaptation. The findings indicate that AI-

¹ Bağımsız Araştırmacı, Uluslararası Lojistik Yönetimi, celkedarur@gmail.com, ORCID: 0009-0006-9335-4677.

* Bu makale, 2024 tarihinde düzenlenen VIII. Ulaştırma ve Lojistik Ulusal Kongresi'nde sunulan bildirinin genişletilmiş ve gözden geçirilmiş halidir.

supported systems not only provide operational improvements but also offer a strategic transformation by increasing the transparency, flexibility, and resilience of global supply chains. The results emphasize the importance of strategies that promote technological adaptation in supply chain management and prioritize sustainability goals. In this context, the study aims to contribute significantly to both academic literature and the business world.

Keywords: Artificial intelligence, supply chain, global integration, operational efficiency, sustainability.

1. GİRİŞ

Küresel ticaretin karmaşıklıştığı ve dijital teknolojilerin hızla geliştiğı günümüzde, tedarik zinciri yönetimi, işletmelerin stratejik rekabet avantajı elde etmelerinde belirleyici bir alan hâline gelmiştir. Geleneksel tedarik zinciri modelleri; üretim, stok yönetimi, lojistik ve tedarikçi ilişkilerinin planlanmasında çoğunlukla geçmiş verilere ve sezgisel yaklaşımlara dayanmaktaydı. Ancak günümüzün hızlı ve öngörülemez pazar koşulları, bu sistemlerin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır (Christopher, 2016).

Yapay zekâ teknolojileri, bu noktada işletmelere karar alma hızını artıran, süreçleri otomatikleştiren ve geleceğe dair daha isabetli öngörülerde bulunmalarını sağlayan güçlü araçlar sunmaktadır. YZ sistemlerinin tedarik zincirine entegrasyonu, yalnızca operasyonel maliyetleri azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda tedarik zincirinin esnekliğini, dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artırmaktadır (Ivanov & Dolgui, 2020). Bu bağlamda, YZ sistemlerinin etkin biçimde kullanımı, yalnızca teknolojik değil; aynı zamanda organizasyonel ve stratejik bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilmektedir (Baryannis vd., 2019).

Bu çalışmada, YZ sistemlerinin küresel tedarik zinciri entegrasyonu ve performansı üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Çalışma kapsamında, öncelikle YZ'nin tanımı, bileşenleri ve tedarik zincirindeki işlevleri açıklanacak; ardından geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı analiz yapılacaktır. Son olarak, YZ'nin sürdürülebilirlik hedeflerine katkısı ve uygulamada karşılaşılan temel zorluklar değerlendirilecektir. Bu doğrultuda araştırma hem akademik, hem de uygulamalı literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Tedarik zinciri yönetimi, modern iş dünyasında küresel ölçekte karmaşııklaşan süreçleri yönetmek ve optimize etmek adına kritik bir alan haline gelmiştir. Üretimden dağıtıma kadar birçok aşamayı kapsayan bu süreçlerin etkinliğı, şirketlerin rekabet avantajı sağlamasında ve müşteri memnuniyetini artırmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Ancak, artan rekabet koşulları, değışken piyasa dinamikleri ve beklenmeyen küresel krizler, geleneksel tedarik zinciri yaklaşımlarının sınırlarını zorlamaktadır. Bu bağlamda, teknolojik dönüşüm, tedarik zinciri süreçlerinde yenilikçi ve etkili çözümler sunarak kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Yapay zekâ (YZ), bu teknolojik dönüşümün merkezinde yer alarak tedarik zinciri yönetiminin pek çok boyutunda devrim niteliğinde etkiler yaratmıştır. YZ'nin otomasyon, verimlilik, karar alma süreçlerini iyileştirme ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlama gibi yetenekleri, tedarik zincirlerini daha çevik ve dayanıklı hale getirmektedir. Ayrıca, büyük veri analitiği, IoT ve doğal dil işleme gibi teknolojilerle bir araya gelerek küresel tedarik zinciri entegrasyonunda güçlü bir araç haline gelmiştir. Bu kuramsal çerçeve, yapay zekânın tedarik zinciri yönetimindeki rolünü ve küresel tedarik zinciri süreçlerine sağladığı katkıları ele alarak, bu dönüşümün hem teorik hem de pratik yönlerini irdelemektedir.

2.1. Yapay Zekâ ve Tedarik Zinciri Yönetimi

Yapay zekâ, makinelerin insan benzeri zekâ fonksiyonlarını gerçekleştirebilmesi için tasarlanmış algoritmalar ve teknolojiler bütünüdür (Shabbir & Anwer, 2018). Günümüzde YZ, makine öğrenimi, derin öğrenme, doğal dil işleme ve görüntü tanıma gibi alt disiplinlerde hızla gelişmektedir (Mah vd., 2022). Bu alt disiplinler tipik olarak insan yorumunu ve karar vermeyi içeren bir rolü yerine getirebilir. Bu alt disiplinler, disiplinler arası bir yaklaşıma sahiptir ve Tedarik Zinciri gibi farklı alanlara uygulanabilir. 1970'lerin sonlarından itibaren yapay zekâ, iş modellerini tanıma, iş süreçlerini öğrenme, bilgi arama ve verilerin akıllı bir şekilde analiz edilmesi gibi yetenekleriyle, insan karar alma süreçlerini destekleme ve iş girişimlerinde üretkenliği artırma konusunda büyük bir potansiyel sunmuştur. Bir karar destek aracı olarak geniş ölçüde benimsenmesine rağmen, yapay zekâ tedarik zinciri yönetiminde sınırlı ölçüde kullanılabilmektedir (Ivanov, Tsipoulaidis vd., 2018). Ancak, 2010 sonrası dönemde, büyük veri, analitik, grafik işlem birimleri ve derin öğrenmenin birçok alandaki uygulamalarının gelişmesiyle yapay zekâ tedarik zinciri yönetiminde daha olgun ve etkin bir hale gelmiştir (Manyika & Bughin, 2018).

Yapay zekâ, tedarik zinciri yönetiminde alışılmış çalışma şeklinin önüne geçerek, süreçlerin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine olanak tanımaktadır. Tedarik zinciri, üretimden dağıtıma kadar birçok aşamayı kapsayan karmaşık bir sistemdir ve bu sistemin etkin yönetimi, verilerin doğru bir şekilde toplanmasını, analiz edilmesini ve uygulanmasını gerektirir (Choi, 2019). YZ, bu gereksinimleri karşılayarak, karar alma süreçlerini otomatikleştirme ve optimize etme kapasitesine sahiptir. Yapay zekâ ve tedarik zinciri yönetimi Tahmin ve Talep Yönetimi, Stok Yönetimi ve Optimizasyonu, Taşımacılık ve Lojistik ve Tedarikçi İlişkileri Yönetimi, alanlarında çalışmaları ortaklaşmaktadır (Waller & Fawcett, 2013). YZ, tedarik zincirinde en kritik alanlardan biri olan talep yönetiminde büyük rol oynamaktadır (Jones, 2025). Makine öğrenimi algoritmaları, geçmiş satış verileri, piyasa trendleri ve dış faktörler gibi çok sayıda

değişkeni analiz ederek gelecekteki talepleri yüksek doğrulukla tahmin edebilir. Örneğin, Amazon ve Walmart gibi şirketler, yapay zekâ destekli talep tahmin modelleri ile stok yönetimini optimize etmekte ve müşteri memnuniyetini artırmaktadır (Manyika & Bughin, 2018) Bu başarı hikâyelerine rağmen, yapay zekâ sistemlerinin başarısı, kullanılan algoritmaların ötesine geçerek, verinin kalitesi ve sistemlerin değişken piyasa koşullarına uyum sağlama kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir.

Piyasa koşullarına uyum sağlama aynı zamanda yapay zekanın envanter seviyelerini optimize ederek fazla stok bulundurma veya stok tükenmesi riskini en aza indirir. Akıllı algoritmalar, hangi ürünlerin hangi miktarlarda ve ne zaman tedarik edilmesi gerektiğini belirleyerek, şirketlerin operasyonel maliyetlerini düşürmelerine yardımcı olur (Ivanov, Sethi, vd., 2018). Bunun yanı sıra, IoT (Nesnelerin İnterneti) cihazlarıyla entegre edilmiş YZ sistemleri, envanterin gerçek zamanlı izlenmesini ve yönetimini sağlar (Singh, & Adhikari, 2023). Envanter optimizasyonu ve talep yönetiminde sağlanan bu faydalar, tedarik zinciri süreçlerinin diğer kritik alanlarına da doğrudan yansımaktadır. Özellikle taşımacılık ve lojistik, yapay zekanın tedarik zincirindeki etkisini en belirgin şekilde ortaya koyduğu alanlardan biridir.

Rota planlamasından sevkiyat sürelerinin gibi birçok süreç, yapay zekâ desteğiyle daha verimli ve sürdürülebilir hale gelebilmektedir. Taşımacılık ve lojistik süreçlerinde YZ, rotaları optimize ederek maliyetleri azaltabilir ve sevkiyat sürelerini kısaltabilir. Google'ın geliştirdiği yapay zekâ destekli trafik algoritmaları, nakliye şirketlerinin daha az yakıt tüketen rotalar seçmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, otonom araçlar ve insansız hava araçları (dronlar) da gelecekte lojistik süreçlerinde devrim yaratacak uygulamalar olarak öne çıkmaktadır (Mah vd., 2022). YZ, tedarikçi seçiminde performans geçmişlerini ve risk faktörlerini analiz ederek daha bilinçli kararlar alınmasını sağlar (Baryannis vd., 2019). Örneğin, doğal dil işleme (NLP) algoritmaları, tedarikçilerin sözleşme verilerini analiz ederek olası riskleri önceden belirleyebilir. Ayrıca, YZ destekli risk yönetim araçları, tedarik zincirindeki olası aksaklıkları önceden tahmin ederek alternatif çözümler sunabilir (Shabbir & Anwer, 2018).

Yapay zekâ, tedarik zinciri süreçlerinin verimliliğini artırırken aynı zamanda bu süreçlerin daha çevik ve esnek bir yapıya kavuşmasına da olanak tanımaktadır. Özellikle lojistik ve taşımacılık gibi operasyonel açıdan maliyetli ve zaman kritik alanlarda, yapay zekâ destekli sistemlerin uygulanması, şirketlerin piyasa taleplerine daha hızlı uyum sağlamasını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, otonom araçlar ve dronların yaygınlaşması, tedarik zincirinde insan müdahalesine olan bağımlılığı azaltarak, güvenlik ve zaman yönetiminde devrim yaratacak potansiyele sahiptir. Bu teknolojik gelişmeler, yalnızca operasyonel faydalarla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda sürdürülebilirlik hedeflerine de önemli katkılar sunmaktadır. Özellikle, rota optimizasyonu ile yakıt

tüketiminin azaltılması ve karbon ayak izinin küçültülmesi, yapay zekanın çevresel etkiler açısından da ne denli stratejik bir araç olduğunu göstermektedir. Taşımacılık ve lojistik süreçlerinde yapay zekanın sağladığı avantajlar, tedarik zinciri operasyonlarının daha bütünleşmiş ve küresel bir yapıya dönüşmesini de desteklemektedir. Bu bağlamda, tedarik zinciri entegrasyonu, küresel ölçekte etkin bir yönetim ve iş birliği sağlamada kritik bir rol oynamaktadır.

2.2. Küresel Tedarik Zinciri Entegrasyonu

Küresel tedarik zinciri entegrasyonu, farklı coğrafyalarda faaliyet gösteren üretim, dağıtım ve lojistik süreçlerinin bir bütünlük içinde yönetilmesi ve optimize edilmesini ifade eder (Power, 2005). Şirketler, uluslararası rakipleri ile rekabet edebilmek için sadece ulusal süreçlerin optimizasyonu ile değil uluslararası tedarik zincirlerini de etkili bir şekilde birleştirme ihtiyacı duymaktadır.

Koordinasyonun temel amacı, üretim, lojistik ve dağıtım süreçlerinde bilgi akışını iyileştirerek maliyetleri düşürmek, teslimat sürelerini kısaltmak ve müşteri memnuniyetini artırmaktır (Chen vd., 2019). Bu sayede hem sürecin işleyişi hem de şirketler arasında kesintisiz bir iletişim sağlanmaktadır. Bu gelişmiş koordinasyon ile sürecin daha şeffaf bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu koordinasyon aynı zamanda kültürel, ekonomik ve politik farklılıklar gibi çeşitli zorluğu da içinde barındırmaktadır (Scott vd., 2011). Tüm bu zorluklar göz önünde bulundurulduğunda bile yapay zekâ ve dijital dönüşümler, küresel tedarik zinciri koordinasyonunu daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Tedarik zinciri entegrasyonu genellikle bir şirketin kendi içindeki departmanlar arası süreçlerin bilgi akışının uyumlu hale getirilmesi olan iç entegrasyon ve şirketin tedarikçileri, distribütörleri ve lojistik ortakları gibi dış paydaşların bilgi akışının uyumlu hale getirilmesi olan dış entegrasyon olarak iki temel boyutta ele alınmaktadır (Basnet, 2013). Bu iki boyutun aynı zamanda yönetilmesi, tedarik zincirinin çalışmasının uyumunu arttırmaktadır. Aynı zamanda da rekabet avantajını arttırmaktadır. Özellikle küresel tedarik zincirlerinde yaşanan ani değişimler tedarik zinciri entegrasyonunu arttırmaktadır. Pandemi, doğal afetler, uluslararası gerginlikleri karşısında da bu koordinasyon önem taşımaktadır. Bu zorluklar ve değişimle küresel tedarik zincirlerinin koordinasyonu yalnızca teknolojik gelişmelerle değil, aynı zamanda küreselleşme ile ilgilidir.

Küreselleşme, tedarik zincirlerini yalnızca coğrafi anlamda genişletmekle kalmamış, aynı zamanda kültürel ve ekonomik farklılıkları da bu süreçlerin ayrılmaz bir parçası haline getirmiştir (Ernst, 2002). Şirketlerin gelişebilmesi ve kendilerine pazarda

bir yer edinebilmeleri için artık sadece operasyonel olarak gelişmeleri önem taşıyor, aynı zamanda küresel pazara açılabilme için şirketleri için stratejiler geliştiriyorlar. Bu sebepten dolayı küreselleşmenin tedarik zincirine olan etkilerini anlamak, tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesi için önemlidir. Küreselleşmenin tedarik zinciri üzerine rekabet ve maliyet avantajları, kültürel ve ekonomik farklılıklar, teknoloji ve dijital dönüşümün, jeopolitik riskler ve dayanıklılık gibi etkileri bulunmaktadır (Cohen & Mallik, 1997).

Küreselleşme, şirketlere tedarik zincirlerinin farklı süreçlerini farklı coğrafyalarda gerçekleştirilmesini sağlayarak maliyet avantajı elde edilmesini sağlamaktadır (Gereffi & Lee, 2012). Örnek olarak, maliyet avantajının elde edilmesi üretim süreçlerinin düşük iş gücü maliyetleri olan ülkelere kaydırılması olmaktadır. Fakat bu avantajlar yaşanan krizler ile aksaklıklara uğramaktadır. Pandemi döneminde Çin gibi büyük üretim merkezlerinde yaşanan kapanmalar, tedarik zincirlerindeki bağımlılık düzeyinin tekrar gözden geçirilmesine neden olmuştur. Bu durum, işletmelerin yalnızca maliyet odaklı değil, aynı zamanda riskleri dağıtmayı hedefleyen stratejilere yönelmesine yol açmıştır (Ivanov & Dolgui, 2020).

Küreselleşme, farklı kültürel ve ekonomik sistemlerin bir araya gelmesini sağlarken, aynı zamanda bu farklılıkların uyumlaştırılmasını gerektirmiştir (Drezner, 2005). Bazı ülkelerdeki altyapı eksiklikleri veya gümrük prosedürleri, tedarik zinciri süreçlerini yavaşlatabilir. Bu tür faktörler, küresel tedarik zincirlerinde daha fazla koordinasyon ve esneklik ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır (Scott, 2011). Tedarik zinciri süreçlerinde kültürel faktörler, iş yapma biçimleri gibi birçok alanda önemli bir etki yaratır. Küreselleşmenin tedarik zinciri üzerindeki en önemli etkilerinden biri de teknoloji ve dijital dönüşümle güçlenmesidir. Yapay zekâ, büyük veri analitiği, IoT ve blockchain gibi teknolojiler, küresel tedarik zincirlerinde şeffaflığı artırmakta ve operasyonel verimliliği güçlendirmektedir (Paramesha vd., 2024). Aynı zamanda gerçek zamanlı veri paylaşımı sayesinde şirketler, küresel ölçekte yaşanan değişimlere daha hızlı yanıt verebilmekte ve rekabet avantajını koruyabilmektedir.

Küreselleşme ile tedarik zincirlerinin daha geniş coğrafyalara yayılmasını sağlarken, aynı zamanda jeopolitik risklere karşı daha savunmasız hale gelmelerine yol açmıştır (Roscoe vd., 2022). Ticaret savaşları, ekonomik yaptırımlar veya bölgesel çatışmalar, küresel tedarik zincirlerini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Subhash, 2022). Bu tür riskler, şirketlerin tedarik zinciri stratejilerini çeşitlendirmelerini öncelik haline getirmiştir. Birden fazla tedarikçiyle çalışmak, olası risklere karşı daha dayanıklı bir yapı oluşturulmasına olanak sağlanması buna örnek olarak verilebilir. Küreselleşmenin getirdiği karmaşıklık ve belirsizlik, tedarik zinciri yönetiminde daha

yenilikçi yaklaşım gerekmektedir. Bu noktada, yapay zekâ sistemleri, tedarik zincirinin artan taleplerine uyum sağlamak için devreye girmektedir.

2.3. Yapay Zekâ Sistemlerinin Tedarik Zinciri Performansına Etkileri

Yapay zekâ sistemleri, modern tedarik zinciri yönetimini daha hızlı, daha doğru ve sürdürülebilir hale getirerek köklü bir dönüşüm sağlamaktadır. (Danach vd., 2024). Tedarik zincirleri, operasyonel süreçlerde sıklıkla karşılaşılan belirsizlikler, hızlı değişen müşteri talepleri ve küresel düzeydeki karmaşıklık gibi zorluklarla başa çıkmak için sürekli olarak yenilikçi çözümlere ihtiyaç duyar (Lee, 2002). YZ, bu ihtiyaçlara tedarik zinciri performansını arttırarak, karar alma süreçlerini hızlandırarak ve verimliliği arttırarak ortaya çıkmaktadır.

Yapay zekâ, tedarik zincirinin çeşitli aşamalarında sunduğu etkili çözümlerle operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra, stratejik karar alma süreçlerine de katkı sağlar (Al-Surmi, vd., 2022). Bu sistemler, büyük veri analitiği ve makine öğrenimi gibi teknolojilerle donatılarak, talep tahmini, stok yönetimi, rota planlama ve risk analizi gibi kritik süreçlerde üstün bir performans sağlar (Ivanov & Dolgui, 2020). Özellikle, geleneksel yöntemlerin sınırlarını aşarak, daha geniş bir veri setiyle çalışıp dinamik analizler gerçekleştirebilme kapasitesi, YZ'nin tedarik zinciri üzerindeki etkisini daha da güçlendirmektedir.

İlk etkilerinden biri, talep tahmini ve stok yönetimi süreçlerinde gözlemlenmektedir. YZ destekli algoritmalar sayesinde sadece geçmiş verileri yalnızca analiz edilmez, aynı zamanda mevcut piyasa trendlerini ve müşteri davranışlarını da dikkate alarak daha kesin tahminler sunar. Bu, stok seviyelerinin optimize edilmesini sağlarken hem fazla stok maliyetlerini azaltır hem de stokların tükenmesi riskini en aza indirir (Manyika & Bughin, 2018).

YZ'nin bir diğer önemli katkısı ise taşımacılık ve lojistik süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Gerçek zamanlı veri analitiği sayesinde trafik koşulları, hava durumu ve sevkiyat öncelikleri gibi faktörler aynı anda değerlendirilebilmektedir (Mah, 2022). Bu, rota optimizasyonunu mümkün kılarak teslimat sürelerinin kısaltılmasını ve yakıt maliyetlerinin azaltılmasını sağlar. Ayrıca, otonom araçlar ve insansız hava araçları (dronlar), nakliye süreçlerinde hız ve güvenlik açısından büyük bir dönüşüm sağlamaktadır (Ivanov & Dolgui, 2020). Aynı zamanda, YZ sistemleri tedarik zinciri risklerini de daha iyi yönetebilmeye imkânı sunar. Büyük veri ve tahmine dayalı analitik ile YZ, olası aksaklıkları öngörebilir ve tedarik zincirinde proaktif çözümler üretebilir (Gereffi & Lee, 2012). Örneğin, doğal afetler, piyasa dalgalanmaları veya tedarikçi kaynaklı riskler gibi faktörler önceden belirlenerek alternatif stratejiler

geliştirilir (Roscoe vd., 2022). Aynı zamanda, blockchain teknolojisi ile entegre edilen YZ sistemleri, tedarik zincirinin şeffaflığını artırarak hem güvenilirliği hem de izlenebilirliği güçlendirir (Baryannis et al., 2019).

Son olarak, yapay zekâ, tedarik zinciri yönetiminde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada da kritik bir rol oynar. Enerji verimliliği sağlayan uygulamalar ve sistem optimizasyonu ile karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur (Mneimneh vd., 2023). İşletmelerin çevresel sorumluluklarını yerine getirirken aynı zamanda maliyet avantajı elde etmelerini sağlar.

3. YÖNTEM

Bu araştırma, yapay zekâ sistemlerinin küresel tedarik zinciri entegrasyonu ve performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla nitel bir yöntem olan sistematik literatür taraması (SLT) yaklaşımını benimsemektedir. SLT, belirli bir araştırma sorusuna sistematik biçimde yanıt ararken bilimsel literatürü yapılandırılmış bir yöntemle incelemeye olanak sağlar (Denyer & Tranfield, 2009). Bu yöntem sayesinde, mevcut çalışmalardaki bulgular tutarlı bir çerçevede toplanarak anlamlı sonuçlara ulaşılabilir. Araştırmada kullanılan literatür, 2015-2024 yılları arasında yayımlanmış, hakemli dergilerde yer alan akademik makalelerden seçilmiştir. Literatür taramasında kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: "yapay zekâ", "tedarik zinciri yönetimi", "küresel entegrasyon", "sürdürülebilirlik", "tahmine dayalı analitik", "dijital dönüşüm" ve "lojistikte yapay zeka uygulamaları". Bu anahtar kelimeler, akademik veri tabanlarında arama yaparken daha doğru ve hedefli sonuçlara ulaşmak amacıyla Boolean bağlaçları (ve, veya, değil) kullanılarak birleştirilmiştir. Örneğin, "yapay zekâ" ve "tedarik zinciri yönetimi" ifadesi, her iki terimi aynı anda içeren çalışmaları filtrelerken; "sürdürülebilirlik" veya "dijital dönüşüm" ifadesi, en az birini içerenleri kapsar.

İlk tarama sonucunda 94 çalışma tespit edilmiştir. Belirlenen dâhil etme kriterlerine göre, yalnızca YZ teknolojilerinin tedarik zinciri süreçlerine doğrudan uygulandığı, uygulama örnekleri, karşılaştırmalı analizler ya da model önerileri sunan ve bilimsel dergilerde yayımlanmış olan çalışmalar seçilmiştir. Belirtilen kriterleri sağlayan 47 makale detaylı incelemeye alınmıştır. Bu makaleler içerik analizi yöntemiyle kodlanmış ve tematik çerçevede sınıflandırılmıştır.

Analiz sürecinde temalar üç ana başlık altında oluşturulmuştur:

1. Yapay zekânın tedarik zinciri performansına katkısı,
2. Küresel entegrasyon düzeyine etkileri,
3. Sürdürülebilirlik hedeflerine katkı ve zorluklar.

Bu yapılandırılmış yaklaşım, araştırmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini artırırken; sonraki bölümlerde ele alınacak bulguların sistematik biçimde tartışılabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda bir sonraki bölümde, elde edilen bulgular doğrultusunda yapay zekâ destekli ve geleneksel tedarik zinciri yaklaşımlarının karşılaştırılması ile YZ teknolojilerinin entegrasyon sürecinde sağladığı avantajlar ve karşılaşılan zorluklar tartışılacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, sistematik literatür taraması sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, yapay zekâ teknolojilerinin tedarik zinciri yönetiminde sunduğu katkılar, geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı olarak ele alınmakta; YZ uygulamalarının entegrasyon sürecinde ortaya çıkan fırsatlar ve zorluklar değerlendirilmektedir. Bulgular hem operasyonel verimlilik hem stratejik dönüşüm açısından ele alınmakta; bu çerçevede yapay zekânın tedarik zinciri içindeki rolü daha derinlikli şekilde analiz edilmektedir.

4.1. Geleneksel ve YZ Destekli Tedarik Zinciri Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Yapay zekâ teknolojileri, tedarik zinciri yönetimi alanında geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek daha öngörülebilir, esnek ve veriye dayalı karar alma süreçleri sunmaktadır. Tablo 1’de, temel tedarik zinciri süreçlerinin geleneksel ve YZ destekli yaklaşımlarla nasıl yürütüldüğü karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. *Geleneksel ve Yapay Zekâ Destekli Tedarik Zinciri Yaklaşımlarının Karşılaştırılması (Yazar Tarafından Oluşturulmuştur)*

Makale Başlığı	Yıl	Yazarlar	Süreç Alanı	Geleneksel Yöntemler	Yapay Zekâ Destekli Yöntemler
The promise and challenge of the age of artificial intelligence. McKinsey Global Institute.	2018	Manyika & Bughin	Talep Tahmini	Geçmiş verilere dayalı manuel analiz	ML ile gerçek zamanlı ve dinamik tahmin
AI and IoT: A future perspective on inventory management.	2023	Singh & Adhikari	Stok Yönetimi	Sabit eşiklere göre sezgisel planlama	IoT destekli otomatik ve esnek envanter yönetimi
Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability.	2020	Ivanov & Dolgui (2020)	Rota Planlaması	Statik rota belirleme, manuel müdahale	Gerçek zamanlı veriyle optimize edilen dinamik rotalar
Predictive analytics and artificial intelligence in supply chain management: Review and implications for the future.	2019	Baryannis et. al	Risk Yönetimi	Gecikmeli müdahale ve sınırlı senaryo analizi	Tahmine dayalı analiz ve erken uyarı sistemleri

Tablodaki karşılaştırma, YZ teknolojilerinin yalnızca süreçleri hızlandırmakla kalmadığını, aynı zamanda daha isabetli ve stratejik kararların alınmasına zemin hazırladığını göstermektedir. Özellikle veri odaklı yapısı sayesinde, YZ sistemleri belirsizliğin yüksek olduğu ortamlarda daha güçlü tahmin ve planlama kapasitesi sunmakta, bu da rekabet avantajı açısından kritik bir katkı olarak değerlendirilmektedir.

4.2. YZ Sistemlerinin Tedarik Zinciri Performansına Katkıları

YZ teknolojileri, operasyonel süreçlerdeki verimliliği artırarak tedarik zincirinin bütünsel performansını doğrudan etkilemektedir. Literatürde yer alan bulgular, YZ'nin stok seviyelerinin dengelenmesi, nakliye süresinin azaltılması, talep tahmininde doğruluk oranının artırılması ve müşteri memnuniyetinin yükseltilmesi gibi birçok olumlu çıktıya yol açtığını göstermektedir. Ayrıca, büyük veri analitiği ve tahmine dayalı modeller aracılığıyla firmalar; üretim miktarlarını, teslimat sürelerini ve personel planlamasını daha hassas biçimde yapabilmekte, böylece kaynak israfını azaltabilmektedir. YZ sistemlerinin stratejik karar alma süreçlerine entegre edilmesi, sadece kısa vadeli operasyonel hedeflerin değil, uzun vadeli stratejik planların da daha gerçekçi temellere dayanmasını sağlamaktadır.

Sektörel bazda değerlendirildiğinde, YZ'nin perakende, otomotiv ve ilaç gibi zaman duyarlılığı yüksek sektörlerde daha yoğun biçimde uygulandığı gözlemlenmektedir. Bu sektörlerdeki firmalar için hızlı adaptasyon, doğru sipariş tahmini ve kriz durumlarında kesintisiz hizmet sunumu, doğrudan rekabet avantajı anlamına gelmektedir.

4.3. Küresel Entegrasyon, Uyum ve Zorluklar

Yapay zekâ sistemlerinin entegrasyonu, beraberinde önemli dönüşümler getirirse de bazı yapısal ve kültürel engellerle karşılaşmaktadır. Öncelikle, algoritmaların başarısı doğrudan veri kalitesine bağlıdır. Eksik, güncel olmayan ya da uyumsuz verilerle çalışan sistemler; hatalı tahminler, gecikmiş reaksiyonlar ve stratejik başarısızlıklara yol açabilir (Dubey vd., 2021). Bununla birlikte, yüksek başlangıç maliyetleri, özel teknik altyapı ihtiyacı ve personelin yeniden eğitilme zorunluluğu, özellikle KOBİ'ler için önemli engeller oluşturmaktadır. Bu tür zorluklar yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda organizasyonel direnç ve değişim yönetimi ile de ilgilidir.

Küresel entegrasyon boyutunda ise kültürel farklılıklar, yasal düzenlemeler ve altyapı çeşitliliği YZ'nin homojen biçimde uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Örneğin, bir ülkede başarıyla çalışan YZ tabanlı tedarikçi puanlama sistemi, başka bir ülkede veri gizliliği yasaları nedeniyle kullanılamayabilir. Bu nedenle, sistemlerin esnek ve yerel koşullara uyarlanabilir biçimde tasarlanması kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, etik konular da gündeme gelmektedir. YZ sistemlerinin karar süreçlerine fazla entegre olması

durumunda şeffaflık, hesap verebilirlik ve insan kontrolü gibi temel ilkelerin ihlal edilme riski bulunmaktadır. Bu durum, sadece operasyonel değil; aynı zamanda sosyal ve yönetişimsel boyutları da olan bir meseledir.

Sonuç olarak, YZ sistemleri tedarik zinciri yönetiminde çok yönlü avantajlar sunsa da bu avantajların sürdürülebilir biçimde hayata geçirilmesi için teknolojik yeterlilik kadar organizasyonel hazırlık, kültürel adaptasyon ve etik hassasiyetin de eş zamanlı olarak gözetilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yapay zekâ sistemlerinin küresel tedarik zinciri entegrasyonu ve performansı üzerindeki etkilerini sistematik bir literatür taraması ışığında incelemiştir. Bulgular, yapay zekâ uygulamalarının tedarik zinciri süreçlerinde çok boyutlu katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle talep tahmini, stok yönetimi, rota planlaması, tedarikçi ilişkileri ve risk analizi gibi alanlarda YZ sistemleri, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, esnek ve isabetli çözümler üretmektedir. Ayrıca, YZ teknolojilerinin sağladığı katkılar sadece operasyonel iyileştirmelerle sınırlı kalmamakta; tedarik zinciri yönetiminin stratejik planlamasında da önemli bir rol oynamaktadır. Şirketler, YZ sistemleri aracılığıyla dinamik piyasa koşullarına daha hızlı yanıt verebilmekte, tedarik risklerini önceden tahmin edebilmekte ve müşteri taleplerini daha etkin karşılayabilmektedir. Bu doğrultuda YZ, işletmelerin dayanıklılığını ve rekabet gücünü artıran stratejik bir araç hâline gelmiştir.

Ancak tüm bu avantajlara rağmen, YZ teknolojilerinin etkin biçimde uygulanabilmesi için belirli zorlukların aşılması gerekmektedir. Özellikle KOBİ'lerde ve gelişmekte olan ülkelerde karşılaşılan dijital dönüşüm eksikliği, veri kalitesinin yetersizliği, nitelikli insan kaynağına erişim sorunları ve yüksek yatırım maliyetleri bu süreci zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, teknolojik dönüşümün sadece teknik değil, aynı zamanda organizasyonel, kültürel ve yönetişimsel boyutlarıyla birlikte ele alınması büyük önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda uygulayıcılara yönelik şu öneriler geliştirilmiştir:

- **Veri Altyapısının Güçlendirilmesi:** YZ sistemlerinin başarısı doğrudan veri kalitesine bağlıdır. Bu nedenle entegrasyon öncesinde şirket içi veri toplama, depolama ve analiz altyapıları gözden geçirilmeli ve gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır.

- **Dijital Yetkinlik Geliştirme:** Çalışanlara yönelik dijital eğitim programları düzenlenerek, teknolojik değişime karşı oluşabilecek organizasyonel direnç azaltılmalı; yeni sistemlerin içselleştirilmesi sağlanmalıdır.
- **Yerel Uyum ve Esneklik:** YZ sistemleri, uygulandığı bölgenin yasal, kültürel ve ekonomik koşullarına göre esnek biçimde yapılandırılmalıdır. Tek tip çözümler yerine, modüler ve uyarlanabilir sistemlerin benimsenmesi faydalı olacaktır.
- **Etik ve Şeffaflık İlkeleri:** YZ destekli karar süreçlerinde insan denetimi tamamen dışlanmamalı, sistemlerin şeffaflığı ve hesap verebilirliği sağlanmalıdır. Bu, güvenin korunması ve olası etik sorunların önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.
- **Stratejik Perspektifin Güçlendirilmesi:** YZ uygulamaları sadece operasyonel iyileştirmeler için değil; uzun vadeli sürdürülebilirlik, kriz dayanıklılığı ve kurumsal yönetim hedefleriyle bütüncül biçimde ele alınmalıdır.

Sonuç olarak, yapay zekâ sistemleri küresel tedarik zincirlerinin karşı karşıya olduğu karmaşıklığa ve belirsizliğe karşı etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerden azami fayda sağlanabilmesi için teknik yeterliliğin yanı sıra kurumsal hazırlık, kültürel adaptasyon ve etik sorumlulukların da eş zamanlı biçimde dikkate alınması gerekmektedir. Böylece YZ uygulamaları, sadece rekabet avantajı değil; aynı zamanda daha sürdürülebilir, esnek ve kapsayıcı bir tedarik zinciri yönetimi için stratejik bir kaldıraç işlevi görecektir.

Kaynaklar

Al-Surmi, A., Bashiri, M., & Koliousis, I. (2022). AI based decision making: combining strategies to improve operational performance. *International Journal of Production Research*, 60(14), 4464-4486.

Baryannis, G., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Predictive analytics and artificial intelligence in supply chain management: Review and implications for the future. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106024.

Basnet, C. (2013). Internal supply chain integration. *International Journal of Production Management and Engineering*, 1(1), 1-10.

Chen, H., Daugherty, P. J., & Landry, T. D. (2009). Supply chain process integration: A theoretical framework. *Journal of Business Logistics*, 25(2), 193–218.

Choi, T. M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2018). Big Data analytics in operations management. *Production and Operations Management*, 27(10), 1868–1889.

Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*

Danach, K., El Dirani, A., & Rkein, H. (2024). Revolutionizing Supply Chain Management with AI: A Path to Efficiency and Sustainability. *IEEE Access*.

Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671–689). Sage.

Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Bryde, D. J., & Giannakis, M. (2019). Big data and predictive analytics and manufacturing performance: Integrating institutional theory, resource-based view and big data culture. *British Journal of Management*, 32(4), 1094–1112.

Drezner, D. W. (2005). Globalization, harmonization, and competition: The different pathways to policy convergence. *Journal of European Public Policy*, 12(5), 841–859.

Ernst, D. (2002). Global production networks and the changing geography of innovation systems. *Economics of Innovation and New Technology*, 11(6), 497–523.

Gereffi, G., & Lee, J. (2012). Why the world suddenly cares about global supply chains. *Journal of Supply Chain Management*, 48(3), 24–32.

Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904–2915.

Ivanov, D., Sethi, S. P., Dolgui, A., & Tsipoulanidis, A. (2018). A survey on control theory applications to operational systems, supply chain management, and logistics. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(6), 1285–1300.

Jones, J. (2025). *The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Demand Forecasting and Supply Chain Decision-Making.*

J. Scott, W. R. (2013). Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities. Sage Publications.

Lee, H. L. (2002). Aligning supply chain strategies with product uncertainties. *California Management Review*, 44(3), 105–119.

Mah, P. (2022). Analysis of Artificial Intelligence and Natural Language Processing Significance as Expert Systems Support for E-Health Using Pre- Train Deep Learning Models

Manyika, J., & Bughin, J. (2018). The promise and challenge of the age of artificial intelligence. McKinsey Global Institute.

Mneimneh, F., Ghazzawi, H., & Ramakrishna, S. (2023). Review study of energy efficiency measures in favor of reducing carbon footprint of electricity and power, buildings, and transportation. *Circular Economy and Sustainability*, 3(1), 447-474.

Paramesha, M., Rane, N. L., & Rane, J. (2024). Big data analytics, artificial intelligence, machine learning, internet of things, and blockchain for enhanced business intelligence. *Partners Universal Multidisciplinary Research Journal*, 1(2), 110-133.

Power, D. (2005). Supply chain management integration and implementation: A literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 10(4), 252–263.

Roscoe, S., Skipworth, H., Aktas, E., & Habib, F. (2022). Managing supply chain uncertainty: The role of digital technologies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(4), 363–377.

Shabbir, J., & Anwer, T. (2018). Artificial Intelligence and its Role in Near Future. *Journal of Latex Class Files*, 14(8), 1–11.

Singh, N., & Adhikari, D. (2023). AI and IoT: A future perspective on inventory management. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(11), 2753-2757.

Subhash, B. (2022). Causes and consequences of global supply chain disruptions: A theoretical analysis. *IUP Journal of Supply Chain Management*, 19(4), 7-24.