

Havacılıkta yapay zekâ uygulamaları: Sürdürülebilirlik perspektifinden bir değerlendirme

Artificial intelligence applications in aviation: An evaluation from a sustainability perspective

Çetin Yelgin¹ 

Öz

Bu çalışma, havacılık sektöründe yapay zekâ uygulamalarının çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, akademik literatür, uluslararası kuruluş raporları ve sektör uygulamalarının incelendiği nitel kavramsal derleme niteliğinde olup, veriler tematik analiz yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapay zekâ uygulamaları; talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma, yolcu deneyimi ve hizmet yönetimi, bakım ve onarım süreçleri, hava trafik yönetimi, havalimanı enerji yönetimi, uçuş güvenliği ve acil durum yönetimi ile çevresel etkilerin yönetimi olmak üzere yedi temel operasyonel alanda incelenmiştir. Bulgular, incelenen literatür doğrultusunda yapay zekâ tabanlı sistemlerin operasyonel verimliliği geliştirerek yakıt tüketimi ve karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlayabildiğini, veri temelli karar destek mekanizmalarıyla kaynak kullanımının optimize edilmesine ve hizmet kalitesi ile operasyonel güvenilirliğin geliştirilmesine katkı sunabildiğini göstermektedir. Ayrıca bu teknolojilerin etkinliğinin yalnızca teknik kapasiteye değil, etik yönetim, insan-makine etkileşimi, veri kalitesi ve kurumsal uyum gibi yapısal faktörlerle de ilişkili olduğu görülmektedir. Sonuç olarak yapay zekânın havacılık sektöründe sürdürülebilir dönüşümü destekleyebileceği ve bu dönüşümün bütüncül bir sürdürülebilirlik perspektifiyle ele alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Havacılık Yönetimi, Sürdürülebilirlik, Dijital Dönüşüm, Operasyonel Verimlilik

JEL Kodları: M10, L93, Q56

Abstract

This study evaluates the effects of artificial intelligence (AI) applications on environmental, economic, and social sustainability in the aviation sector. A qualitative conceptual review was conducted using academic literature, reports from international organizations, and sectoral practices, with the data analyzed through thematic analysis. AI applications are examined across seven operational areas: demand forecasting and dynamic pricing, passenger experience and service management, maintenance and repair, air traffic management, airport energy management, flight safety and emergency management, and environmental impact management. The analysis shows that AI-based systems can improve operational efficiency, contribute to reducing fuel consumption and carbon emissions, optimize resource utilization through data-driven decision support, and support service quality and operational reliability. Their effectiveness, however, depends on more than technical capabilities, with ethical governance, human-machine interaction, data quality, and organizational alignment also playing important roles. Overall, AI can play an important role in sustainable transformation in aviation, but its applications need to be considered within a holistic sustainability perspective.

Keywords: Artificial Intelligence, Aviation Management, Sustainability, Digital Transformation, Operational Efficiency

JEL Codes: M10, L93, Q56

Atıf/Citation: Yelgin Ç., Havacılıkta yapay zekâ uygulamaları: Sürdürülebilirlik perspektifinden bir değerlendirme, bmij (2026) 14 (3): 1953-1970, doi: <https://doi.org/10.15295/bmij.v14i3.2817>

Başvuru/Submitted: 4/06/2026

Revizyon/ Revised: 24/07/2026

Kabul/Accepted: 2/08/2026

Yayın/Online Published: 25/09/2026

Extended Abstract

Artificial intelligence applications in aviation: An evaluation from a sustainability perspective

Literature

Artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative technology in the aviation sector, influencing a wide range of operational and managerial processes. Recent advances in machine learning, big data analytics, predictive modelling, and intelligent decision-support systems have accelerated the adoption of AI across aviation activities, including demand forecasting, dynamic pricing, maintenance operations, airport management, air traffic control, and passenger services (Zaoui et al., 2024; ICAO, 2025). As aviation organizations seek to improve operational efficiency, safety performance, and service quality, AI has become an increasingly important component of the sector's digital transformation (Kabashkin et al., 2023).

The growing integration of AI into aviation operations has attracted considerable scholarly attention. Existing studies have primarily focused on the technological and operational dimensions of AI applications, emphasizing their potential to enhance decision-making processes, optimize resource allocation, improve maintenance planning, strengthen safety management, and support air traffic operations (EUROCONTROL, n.d.; Tafur et al., 2025). Academic studies and institutional reports suggest that AI-based systems enhance operational efficiency by reducing delays, improving capacity utilization, and supporting more accurate forecasting and planning processes (Zaoui et al., 2024; Tafur et al., 2025; ICAO, 2025).

Despite this growing body of knowledge, research examining the sustainability implications of AI applications in aviation remains relatively limited. Most studies focus on specific operational outcomes or technological capabilities, while comparatively few investigate how AI contributes simultaneously to environmental, economic, and social sustainability objectives. However, increasing environmental pressures, carbon reduction commitments, and sustainability-oriented regulatory frameworks have highlighted the importance of evaluating AI applications beyond purely operational performance indicators (ICAO, 2023a; EASA, 2023). Consequently, there remains a need for a comprehensive assessment of the role of AI in supporting sustainable transformation across different operational domains of the aviation sector.

Research subject

The subject of this study is the evaluation of artificial intelligence applications in the aviation sector from a sustainability perspective.

Research purpose and importance

The study aims to examine the contributions of AI applications to environmental, economic, and social sustainability in aviation. Given increasing environmental pressures, rising operational costs, and growing expectations regarding service quality and safety, understanding the sustainability implications of AI has become increasingly important for aviation stakeholders.

Contribution of the article to literature

The main contribution of the study is the development of an integrated sustainability perspective that evaluates AI applications across different operational domains of aviation. Unlike studies focusing solely on operational performance or technological aspects, this research classifies AI applications into thematic categories and assesses their environmental, economic, and social impacts simultaneously. In addition, the study identifies whether sustainability effects emerge directly or indirectly across different operational areas.

Design and method

The study adopts a conceptual and analytical research design. Academic studies, international institutional reports, and sectoral practices were reviewed and synthesized through thematic analysis. The literature search was conducted between January 2025 and August 2026 using Web of Science, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar. Sources were selected according to their direct relevance to AI applications in aviation, their relationship with environmental, economic, or social sustainability, and their contribution to the operational areas examined in the study.

Research type

This study is a qualitative conceptual review based on thematic analysis and literature synthesis.

Research problems

The study addresses the following research question:

How do artificial intelligence applications contribute to environmental, economic, and social sustainability in the aviation sector?

Data collection method

The study relies on secondary data sources, including peer-reviewed academic publications, international institutional reports, and industry documents. Reports published by organizations such as ICAO, IATA, EASA, and EUROCONTROL were also included. Following title, abstract, and full-text assessment, 25 sources meeting the inclusion criteria were included in the thematic analysis.

Quantitative / qualitative analysis

A qualitative thematic analysis approach was employed. The reviewed sources were analyzed and grouped according to recurring themes and operational application areas. The themes were developed inductively by comparing recurring patterns in academic studies with AI application areas identified in international aviation reports. Subsequently, sustainability impacts were evaluated under environmental, economic, and social dimensions.

Research model

The analytical framework of the study is based on the relationship between AI application areas and sustainability outcomes. AI applications were classified into seven operational themes:

- Demand forecasting and dynamic pricing

- Passenger experience and service management
- Maintenance and repair processes
- Air traffic management
- Airport energy management
- Flight safety and emergency management
- Environmental impact management

Each theme was evaluated according to its environmental, economic, and social sustainability implications.

Research hypotheses

Since the study is conceptual in nature, no formal hypotheses were developed.

Findings and discussion

The findings indicate that AI applications support sustainable transformation within the aviation sector. Potential environmental benefits are particularly evident in air traffic management, airport energy management, predictive maintenance, and environmental monitoring applications. These applications support reductions in fuel consumption, energy use, and carbon emissions through optimized resource allocation and improved operational efficiency.

Economic sustainability benefits emerge through cost reduction, revenue optimization, improved capacity utilization, predictive maintenance, and enhanced operational continuity. AI-supported demand forecasting and dynamic pricing systems can support revenue management performance, while predictive maintenance applications may contribute to reducing maintenance costs and operational disruptions.

From a social sustainability perspective, the reviewed literature indicates potential contributions to improved safety, enhanced passenger experience, increased accessibility, and strengthened stakeholder trust. Intelligent decision-support systems, personalized services, and safety management applications improve service quality while supporting safer and more reliable aviation operations.

The analysis further demonstrates that sustainability impacts vary across operational domains. While some AI applications generate direct environmental benefits, others contribute indirectly through operational efficiency and resource optimization.

Conclusion, recommendations and limitations

The findings indicate that artificial intelligence can support sustainable transformation in aviation through its contributions not only to operational efficiency but also to environmental sustainability, economic resilience, and social value creation. The review further demonstrates that the sustainability contributions of AI vary across different aviation functions, highlighting the need for an integrated evaluation framework.

Based on the findings, airlines should strengthen digital infrastructure, data governance, and the adoption of AI applications such as predictive maintenance and digital twin technologies. Airport operators should expand AI-supported solutions for terminal management, energy efficiency, and passenger flow optimization. Regulators are encouraged to promote ethical AI governance, data security, transparency, common standards, and cross-sector collaboration to facilitate the responsible adoption of AI throughout the aviation industry.

The thematic analysis was based on 25 sources selected according to the inclusion criteria. Of these sources, 16 (64%) were published between 2023 and 2025. Given the rapidly evolving nature of AI applications in aviation, emerging technological and regulatory developments may require these assessments to be updated over time. The study is also limited to accessible sources that met the inclusion criteria, while differences in methodological approaches, data sources, and levels of evidence across the reviewed literature should be considered when interpreting the findings.

Giriş

Havacılık, küresel ulaşım ağının önemli bir bileşeni olmakla birlikte çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla dikkat çeken bir sektördür. Dünya genelinde milyonlarca insanın seyahat etmesini mümkün kılarken, küresel ticaret ve turizmin de temel yapı taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu yüksek hareketlilik önemli miktarda enerji tüketimi ve karbon emisyonuna yol açmakta; aynı zamanda maliyet baskıları, kaynak kullanımı ve hizmet kalitesi gibi sürdürülebilirlik açısından kritik konuları da gündeme getirmektedir. Özellikle yakıt tüketimi ve buna bağlı karbon emisyonları, havacılık endüstrisini sürdürülebilirlik tartışmalarının merkezine yerleştirmiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) verilerine göre, havacılık sektörü küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %2-3'ünden sorumludur (ICAO, 2023a). Bu durum, çevresel etkileri azaltırken ekonomik verimliliği koruyabilen ve hizmet kalitesini sürdürebilen yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik, günümüzde havacılık sektörünün çevresel performansını, ekonomik rekabet gücünü ve toplumsal değer üretme kapasitesini birlikte şekillendiren stratejik bir dönüşüm alanı olarak değerlendirilmektedir (Gössling ve Upham, 2009).

Sürdürülebilirlik, günümüzde yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasına odaklanan bir yaklaşım olmaktan çıkmış; ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların dengeli ve bütüncül biçimde birlikte ele alınmasını esas alan bir yönetim anlayışına dönüşmüştür. Bu yaklaşım, Elkington (1997) tarafından geliştirilen Triple Bottom Line (Üçlü Kâr Yaklaşımı) ile kuramsal bir çerçeve kazanmış ve işletmelerin başarısının yalnızca ekonomik performanslarıyla değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal performanslarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bansal (2005), sürdürülebilir kalkınmanın çevresel bütünlük, ekonomik refah ve sosyal eşitlik ilkelerinin birlikte gerçekleştirilmesine dayandığını; bu ilkelerin işletme düzeyinde çevresel yönetim, kurumsal sosyal sorumluluk ve değer yaratma uygulamalarıyla somutlaştığını belirtmektedir. Bu yaklaşımı geliştiren Lozano (2015) ise kurumsal sürdürülebilirliğin yalnızca bu boyutların benimsenmesiyle değil, aynı zamanda liderlik, iş modeli, paydaş beklentileri ve düzenleyici çevre gibi iç ve dış sürdürülebilirlik sürücülerinin bütüncül biçimde yönetilmesiyle kurumsal uygulamalara dönüştürülebileceğini ileri sürmektedir. Bu doğrultuda, havacılık sektörü gibi yüksek enerji tüketimi, karbon emisyonu ve çok paydaşlı operasyonel süreçlere sahip sektörlerde sürdürülebilirlik; operasyonel verimlilik, kaynak kullanımının etkinliği, hizmet kalitesi ve toplumsal sorumluluğun birlikte ele alındığı bütüncül bir yönetim yaklaşımı olarak önem kazanmaktadır.

Havacılıkta sürdürülebilirlik odaklı yol haritası, 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefini esas almakta; aynı zamanda artan yolcu talebine ekonomik olarak karşılık verebilen, istihdamı ve hizmet kalitesini muhafaza edebilen bütüncül bir sistem dönüşümünü öngörmektedir. Bu dönüşümün yalnızca yakıt ve motor teknolojilerindeki gelişmelerle değil, operasyonel süreçlerin daha verimli ve bütüncül biçimde yönetilmesiyle de desteklenmesi gerekmektedir (Ficca vd., 2023). Bu noktada yapay zekâ teknolojileri, son yıllarda havacılık sektöründe giderek daha stratejik bir rol üstlenmektedir. Yapay zekâ tabanlı çözümler; çevresel etkilerin azaltılması, operasyonel verimliliğin artırılması, maliyetlerin optimize edilmesi ve insan hatasına bağlı risklerin azaltılması yoluyla havacılık güvenliğinin güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca çalışanların iş yükünün dengelenmesine yardımcı olarak sosyal sürdürülebilirliği desteklemektedir (Kabashkin vd., 2023). Uçuş planlamasından bakım süreçlerine, hava trafik yönetiminden yer hizmetlerine kadar geniş bir uygulama alanına sahip olan bu sistemler, sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına katkı sunarak sektörün uzun vadeli hedeflerine ulaşılmasına destek olmaktadır (Çankaya, 2020). Ayrıca, havacılık sektöründeki düzenleyici kuruluşlar, yapay zekânın sektördeki artan rolünü etik boyut da dâhil olmak üzere çeşitli açılardan ele alan rehber dokümanlar yayımlamaktadır. Bu dokümanlarda, yapay zekânın etkin biçimde uygulanmasına yönelik stratejik önerilere yer verilmekte; inovasyonu teşvik etme ve operasyonel verimliliği artırma potansiyeli vurgulanmaktadır (EASA, 2023; FAA, 2022).

Yapay zekâ uygulamalarının havacılık sektöründeki kullanım alanları giderek çeşitlenirken, bu uygulamaların sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi de önem kazanmaktadır. Literatürde yapay zekâ uygulamalarının havacılıktaki kullanım alanları, algoritmik yapıları, operasyonel katkıları ve gelecekteki uygulama potansiyelleri yaygın olarak incelenmektedir (Çeken ve Tuncal, 2026; Zaoui vd., 2024). Buna karşın, yapay zekâ uygulamalarını çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarını birlikte dikkate alan bütüncül bir analitik çerçevede değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, yapay zekânın havacılık sektöründe sürdürülebilir dönüşüme sağladığı katkıların farklı operasyonel alanlar arasında bütüncül bir bakış açısıyla yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

7Bu nedenle bu çalışma, havacılık sektöründe yapay zekâ teknolojilerinin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin neler olduğu sorusuna yanıt aramayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda yapay zekânın; talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma, yolcu deneyimi ve hizmet yönetimi, bakım ve onarım süreçleri, hava trafik yönetimi, havalimanlarında enerji yönetimi, uçuş güvenliği ve acil durum yönetimi ile çevresel etkilerin yönetimi gibi temel operasyonel alanlardaki kullanımları tematik ve analitik bir çerçevede ele alınmaktadır. Ayrıca mevcut düzenleyici yaklaşımlar ve politika araçlarıyla ilişkilendirilmekte; yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşma sürecinde karşılaşılan çevresel, teknik ve etik sınırlılıklar da sürdürülebilir dönüşüm bağlamında tartışılmaktadır.

Havacılıkta yapay zekâ uygulamaları ve sürdürülebilirlik

Yapay zekâ teknolojisinin kavramsal temelleri, ilk olarak 1955 yılında bilgisayar bilimcisi John McCarthy tarafından ortaya konmuştur. McCarthy ve meslektaşları tarafından aynı yıl düzenlenen Dartmouth Yaz Araştırma Projesi kapsamında, öğrenme ve zekânın bilgisayarlar tarafından taklit edilebileceği öne sürülmüş ve bu yaklaşım, yapay zekâ alanının temelini oluşturmuştur (McCarthy vd., 1955). Zaman içerisinde yapay zekâ kavramı literatürde farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Whitby (2009), yapay zekâyı hem doğal hem de yapay varlıklarda gözlemlenen akıllı davranışları analiz etmeyi ve bu davranışları insan yapımı sistemlere uyarlamayı amaçlayan bir bilimsel disiplin olarak tanımlarken, Enholm vd. (2022) göre yapay zekâ, sistemlerin belirli organizasyonel ve toplumsal hedeflere ulaşabilmeleri amacıyla verileri tanıma, yorumlama, çıkarım yapma ve bu verilerden öğrenme becerilerini geliştirmeyi hedefleyen uygulamalı bir disiplindir. Avrupa Birliği Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA, 2023) ise yapay zekâyı, insan tanımlı hedefler doğrultusunda, etkileşimde bulunduğu çevreye yönelik tahmin, öneri, içerik ya da karar üretebilen bir teknoloji olarak ifade etmektedir.

Günümüzde işletmeler, yapay zekâyı üretim ve operasyonel süreçlerine entegre etme yönünde artan bir eğilim göstermektedir. Yetkin vd. (2024) göre bu eğilim; müşteri memnuniyetinin artırılması, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması, güvenliğin güçlendirilmesi ve karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi gibi faktörlere dayanmaktadır. YZ, pazarlama başta olmak üzere operasyonel birimlerde kaliteyi ve müşteri odaklılığı artırarak ekonomik performansa olumlu katkı sağlayan ve yenilikçi hizmet ve çözümlerin geliştirilmesini destekleyen önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Russell ve Norvig, 2010; Zaoui vd., 2024).

Bu dönüşümün en belirgin şekilde gözlemlendiği sektörlerden biri havacılıktır. Yüksek teknoloji kullanımı, güvenlik gereklilikleri ve yoğun düzenleyici yapısı nedeniyle havacılık sektörü, yapay zekâ uygulamalarının hızla yaygınlaştığı alanlar arasında yer almaktadır. ICAO'ya (2025) göre yapay zekâ, havacılıkta operasyon yönetimi, hava trafik yönetimi, bakım süreçleri ve yolcu hizmetleri dâhil olmak üzere geniş bir uygulama alanına sahiptir ve sektörün sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında giderek daha önemli bir rol üstlenmektedir. EUROCONTROL (n.d.) ise yapay zekâ uygulamalarının özellikle yolcu deneyimi, altyapı izleme, mesafe ve ayırma yönetimi, performans ve kaynak planlaması ile trafik öngörülleri ve otomasyon sistemleri gibi alanlarda yoğunlaşma potansiyeline dikkat çekmektedir. Sektördeki uygulamalar incelendiğinde, uçuş talebi tahmini, dinamik fiyatlandırma, rota ve slot optimizasyonu, uçak bakım süreçlerinin yönetimi, hava trafik düzenlemesi ve yolcu deneyiminin iyileştirilmesi gibi birçok alanda yapay zekânın yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu gelişmeler, havacılık sektöründeki dijital dönüşümü önemli ölçüde hızlandırmaktadır (Zaoui vd., 2024; Sadou ve Njoya, 2023).

Yapay zekâ uygulamalarının somut etkileri özellikle havalimanı ve uçuş operasyonlarında giderek daha görünür hâle gelmektedir. Birçok havalimanında yaygınlaşan otonom bagaj taşıma sistemleri, yüz tanıma tabanlı hızlı geçiş teknolojileri ve yapay zekâ destekli yolcu akışı yönetimi uygulamaları, operasyonel verimliliği artırırken yolcu deneyimini de iyileştirmektedir. Benzer biçimde, yapay zekâ destekli sistemler uçuş rotalarının planlanması ve hava trafiği yönetimi gibi alanlarda aktif olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, yakıt tüketimi, uçuş süresi ve karbon salımı gibi çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca operasyonel maliyetleri düşürerek işletmelere ekonomik avantaj sunmaktadır. Bu yönüyle yapay zekâ uygulamaları, havacılık sektöründe yalnızca teknik verimliliği artıran araçlar olarak değil; çevresel etkilerin azaltılması, maliyet etkinliğinin sağlanması ve yolcu deneyiminin iyileştirilmesi gibi sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle ilişkili çok boyutlu bir dönüşümün parçası olarak değerlendirilmektedir (Tafur vd., 2025; Geske vd., 2024).

Havacılık sektöründe yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin uygulama alanına göre farklılaştığı ve çok boyutlu bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda, yapay zekâ uygulamalarının çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutları üzerindeki etkileri sistematik biçimde analiz edilmiş ve elde edilen

bulgular doğrultusunda bir sürdürülebilirlik etki çerçevesi oluşturulmuştur. Bu çerçeve Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1: Havacılıkta Yapay Zekâ Uygulamalarının Sürdürülebilirlik Etki Çerçevesi

Uygulama Alanı	Çevresel Etki	Ekonomik Etki	Sosyal Etki	Baskın Etki Türü
Talep Tahminleme ve Dinamik Fiyatlandırma	Kapasite optimizasyonu ile kaynak verimliliği	Gelir optimizasyonu, talep belirsizliğinin azaltılması	Fiyat erişilebilirliği üzerinde koşullu etki	Dolaylı
Yolcu Deneyimi ve Hizmet Yönetimi	Operasyonel verimlilik yoluyla enerji kullanımının azalması	Hizmet kalitesi artışı, müşteri sadakati	Kişiselleştirilmiş hizmet, erişilebilirlik	Dolaylı
Bakım ve Onarım Süreçleri	Yakıt verimliliği, atık ve parça kullanımının azalması	Maliyetlerin düşmesi, operasyonel süreklilik	Uçuş güvenliği, iş yükü dengesi	Doğrudan
Hava Trafik Yönetimi (ATM)	Yakıt tüketimi ve karbon emisyonlarının azaltılması	Gecikmelerin azalması, kapasite verimliliği	Uçuş güvenliği, sistem güvenilirliği	Doğrudan
Havalimanı Enerji Yönetimi	Enerji verimliliği, emisyon azaltımı	Enerji maliyetlerinin düşmesi	Yolcu konforu, sürdürülebilir yaşam alanı	Doğrudan
Uçuş Güvenliği ve Acil Durum Yönetimi	Risk yönetimi ile kaynak optimizasyonu	Operasyonel risk maliyetlerinin azaltılması	Emniyet kültürü, yolcu ve personel güvenliği	Dolaylı
Çevresel Etkilerin Yönetimi	Emisyon izleme, karbon ayak izi analizi, sürdürülebilir operasyonlar	Çevresel maliyetlerin azaltılması, regülasyon uyumu	Çevresel farkındalık, kurumsal sosyal sorumluluk	Doğrudan

Kaynak: Yazar tarafından üretilmiştir.

Yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri, tüm operasyonel alanlarda aynı düzeyde ortaya çıkmamaktadır. Bazı uygulamalarda çevresel, ekonomik ve sosyal kazanımlar daha doğrudan ve ölçülebilir şekilde gözlemlenebilirken, bazı alanlarda bu etkiler operasyonel verimlilik, kaynak optimizasyonu ve hizmet kalitesindeki iyileşmeler aracılığıyla dolaylı olarak gerçekleşmektedir. Özellikle hava trafik yönetimi, havalimanı enerji yönetimi, bakım süreçleri ve çevresel etkilerin yönetimi gibi alanlarda çevresel ve ekonomik kazanımlar daha çok doğrudan ortaya çıkarken; talep tahminleme, dinamik fiyatlandırma, yolcu deneyimi ve uçuş güvenliği uygulamalarında sürdürülebilirlik katkıları yoğunlukla operasyonel süreçlerdeki iyileşmeler üzerinden dolaylı olarak oluşmaktadır. Benzer şekilde, sosyal sürdürülebilirlik boyutunda erişilebilirlik, hizmet kalitesi, emniyet kültürü, yolcu ve personel güvenliği gibi etkiler uygulama alanlarına göre farklı düzeylerde ortaya çıkmaktadır. Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin homojen olmadığını ve havacılık sektöründeki dönüşümün çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları içeren çok katmanlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri yalnızca potansiyel kazanımlar üzerinden değerlendirilmemelidir. Talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma uygulamaları, gelir ve kapasite yönetimini desteklemekle birlikte, yoğun talep dönemlerinde bazı yolcu grupları açısından fiyat erişilebilirliğini sınırlandırabilir. Benzer şekilde, kişiselleştirilmiş hizmetler, biyometrik sistemler ve otomatik yolcu işlemleri hizmet kalitesini ve erişilebilirliği artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte; veri mahremiyeti, algoritmik önyargı, dijital dışlanma ve insan etkileşiminin azalması gibi sosyal ve etik riskler doğurabilir. Bakım, hava trafik yönetimi ve uçuş güvenliği alanlarında ise veri kalitesindeki yetersizlikler, algoritmaların açıklanabilirliğinin sınırlı olması ve yapay zekâ sistemlerine aşırı bağımlılık, hatalı tahminlere, otomasyon yanlılığına ve insan-makine sorumluluklarının belirsizleşmesine yol açabilir (EASA, 2023; Kirwan, 2024). Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik katkısı; insan merkezlilik, veri koruma, şeffaflık, açıklanabilirlik ve etkin insan denetimi ilkeleriyle birlikte ele alınmalıdır. Bu çerçeve, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini ortaya koymakla birlikte, bu etkilerin veri kalitesi, düzenleyici yapı, etik, yönetim gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır. Bu kapsamda, yapay zekâ uygulama alanları ve sektörel etkileri aşağıda tematik başlıklar altında ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Yöntem

Bu çalışma, havacılık sektöründe yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik hedeflerine olan katkısını inceleyen kavramsal bir araştırma niteliğindedir. Araştırma, akademik literatür, uluslararası kuruluş raporları ve sektörel uygulamalardan elde edilen bilgilerin bütüncül bir çerçevede

değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda, yapay zekâ uygulamaları sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alınarak niteliksel tematik analiz yaklaşımıyla ele alınmıştır.

Araştırmada, akademik literatür, uluslararası kuruluş raporları ve sektör uygulamaları birlikte incelenmiş, farklı kaynak türlerinin birlikte kullanılmasının kavramsal analizlerin kapsamını genişlettiği (Tranfield, Denyer ve Smart, 2003) dikkate alınmıştır. Literatür taraması Ocak 2025–Ağustos 2026 döneminde Web of Science, Scopus, ScienceDirect ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Aramalarda “artificial intelligence” AND (“aviation” OR “airline” OR “airport”) temel sorgusu; “sustainability”, “demand forecasting”, “dynamic pricing”, “passenger experience”, “maintenance”, “air traffic management”, “energy management”, “flight safety” ve “environmental impact” terimleriyle ilişkilendirilerek kullanılmıştır. Çalışmanın güncelliğini koruyabilmek amacıyla ağırlıklı olarak 2005–2026 yılları arasında yayımlanan çalışmalar incelenmiş; bununla birlikte kavramsal altyapıyı oluşturan daha eski temel çalışmalar da değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Çalışmaya Türkçe ve İngilizce yayımlanan çalışmalar dâhil edilmiştir.

Araştırma kapsamında, uluslararası indekslerde taranan çalışmaların yanı sıra, başta International Civil Aviation Organization (ICAO), European Union Aviation Safety Agency (EASA), International Air Transport Association (IATA) ve EUROCONTROL olmak üzere sektöre yön veren uluslararası kuruluşların raporları analize dâhil edilmiştir. Kaynakların seçimi; yapay zekâ uygulamalarının havacılık sektörüne doğrudan odaklanması, sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik veya sosyal boyutlarıyla ilişkilendirilmesi, somut operasyonel uygulamalar içermesi ve bilimsel niteliğe sahip olması ölçütlerine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çalışmalar başlık, özet ve tam metin düzeyinde araştırmanın kapsamına uygunluk açısından değerlendirilmiş; yinelenen, havacılıkta yapay zekâ uygulamalarıyla doğrudan ilişkili olmayan veya çalışma amacı açısından yeterli katkı sunmayan çalışmalar kapsam dışında bırakılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda tematik analize dâhil edilen nihai kaynak sayısı $n = 25$ olarak belirlenmiştir. Hakemli akademik yayınlar çalışmanın temel bilimsel kanıt tabanını oluştururken, ICAO, EASA, IATA ve EUROCONTROL gibi uluslararası kuruluşların rapor ve resmî dokümanlarından güncel sektörel uygulamaları, politika çerçevesini ve düzenleyici gelişmeleri desteklemek amacıyla yararlanılmıştır.

İncelenen kaynaklar, analiz sürecinde tematik sınıflandırma çerçevesinde değerlendirilmiştir. Temalar, literatürde tekrar eden kavramsal örüntüler ve sektörel uygulamalar dikkate alınarak tümevarımsal bir yaklaşımla oluşturulmuştur (Braun ve Clarke, 2006). Önceden belirlenmiş bir sınıflandırma kullanılmamış; akademik çalışmalarda ve uluslararası havacılık kuruluşlarının raporlarında öne çıkan yapay zekâ uygulama alanları karşılaştırılarak ortak operasyonel süreçler belirlenmiştir. Literatürde yapay zekâ uygulamaları çoğunlukla belirli teknolojiler veya tekil operasyonel alanlar çerçevesinde ele alınırken, bu çalışmada uygulamalar sürdürülebilirlik perspektifi doğrultusunda ortak operasyonel süreçler temelinde yeniden sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak yapay zekâ uygulamaları, literatürde öne çıkan kullanım alanları ile uluslararası havacılık kuruluşlarının raporlarında vurgulanan süreçler dikkate alınarak (Zaoui vd., 2024; Tafur vd., 2025; Ceken ve Tuncal, 2026; ICAO, 2025) yedi ana tema altında sınıflandırılmıştır. Tematik analize dâhil edilen kaynakların bu operasyonel alanlarla eşleşmesi Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2: Tematik Analizde Belirlenen Temalar ve Analize Dâhil Edilen Kaynaklar

Tema	Analize dâhil edilen kaynaklar
Talep Tahminleme ve Dinamik Fiyatlandırma	Phillips (2021); Yazgan vd. (2019); Manalu vd. (2024)
Yolcu Deneyimi ve Hizmet Yönetimi	Şahin (2024); Cam ve Durmaz (2018); Soyer ve Duman (2024); Çakır ve Nacar (2024); Rjsé vd. (2023)
Bakım ve Onarım Süreçleri	Karagöz (2024); Pereira vd. (2022); Salvador vd. (2022); Şahin (2024)
Hava Trafik Yönetimi	Tafur vd. (2025); Lim vd. (2022); Kabashkin vd. (2023); EUROCONTROL (n.d.)
Havalimanlarında Enerji Yönetimi	Olawade vd. (2024); Ceken ve Tuncal (2026); SESAR Joint Undertaking (2023); Garcia vd. (2025); Tafur vd. (2025)
Uçuş Güvenliği ve Acil Durum Yönetimi	Zaoui vd. (2024); Tafur vd. (2025); Kirwan (2024); EUROCONTROL (n.d.)
Çevresel Etkilerin Yönetimi	Wang vd. (2024); Olawade vd. (2024); EASA (2023); IATA (2022); Lufthansa Group (2023)

Not. Birden fazla operasyonel alanla ilişkili kaynaklar, metinde kullanıldıkları ilgili temalarda gösterilmiştir. Aynı kaynak birden fazla temada yer alsa da nihai kaynak sayısında bir kez sayılmıştır.

Her bir tema, sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla ilişkilendirilerek karşılaştırmalı bir analitik çerçevede değerlendirilmiştir. Tek araştırmacı tarafından gerçekleştirilen sınıflandırmada yorumlayıcı önyargıyı azaltmak amacıyla tema-kaynak eşleşmeleri, literatürde tekrar eden örüntüler ve sektör raporlarında ortak biçimde vurgulanan uygulama alanları açısından yeniden gözden geçirilmiştir. Bununla birlikte, aynı çalışmaların farklı araştırmacılar tarafından farklı temalar altında değerlendirilebilmesi, tematik analizin yorumsal niteliğinden kaynaklanan bir sınırlılık olarak kabul edilmiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini bütüncül biçimde sınıflandıran bir sürdürülebilirlik etki çerçevesi geliştirilmiştir.

Bulgular

Talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma

Literatür, yapay zekâ destekli talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma uygulamalarının havayolu işletmelerinde gelir yönetimi ve kapasite planlamasının daha etkin yürütülmesine önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Bu uygulamalar, özellikle talep belirsizliğinin yüksek olduğu havacılık sektöründe stratejik bir rol oynamaktadır (Phillips, 2021). Talep tahminleme, geleceğe yönelik talep düzeylerinin öngörülmesine olanak sağlayarak dinamik fiyatlandırma sürecinin temel girdilerinden birini oluşturmaktadır. Dinamik fiyatlandırma ise "doğru ürünü doğru müşteriye doğru zamanda sunma" yaklaşımı doğrultusunda gelir optimizasyonunu amaçlamaktadır. Bu stratejiler; miktar, fiyatlandırma ve yapısal olmak üzere üç temel karar boyutu çerçevesinde şekillenmektedir. Miktar boyutu kapasite tahsisi, fazla rezervasyon (overbooking) ve rezervasyon limitlerinin belirlenmesini kapsarken, fiyatlandırma boyutu piyasa koşulları ve talep esnekliği doğrultusunda rekabetçi fiyatların optimize edilmesine odaklanmaktadır. Yapısal boyut ise farklı talep ve kapasite senaryoları altında uygulanacak fiyat ve kapasite düzeylerinin belirlenmesini içermektedir (Yazgan vd., 2019).

Hava taşımacılığı sektörü, dinamik fiyatlandırma stratejilerinin en yoğun uygulandığı sektörlerin başında gelmektedir. Tükenebilir kapasite yapısına sahip olan havayolu işletmelerinde satılamayan koltuklar doğrudan gelir kaybı anlamına gelmektedir. Bu yapı, fiyata duyarlı talebin etkin biçimde yönetilmesini ve gelirin optimize edilmesini stratejik bir gereklilik haline getirmektedir. Bunun yanı sıra yüksek sabit maliyetler ve talepteki dalgalanmalar, sektörde belirsizlik düzeyini artırarak risk yönetimini kritik bir unsur hâline dönüştürmektedir. Bu nedenle talep, kapasite ve fiyatlandırma yönetimi; havayolu işletmeleri açısından yalnızca operasyonel bir faaliyet değil, belirsizlik koşulları altında gelir performansını yönlendiren bütünlük bir stratejik yönetim alanı olarak değerlendirilmektedir (Yazgan vd., 2019).

Havayolu sektöründe fiyatlandırmaya dayalı stratejik karar süreçleri, yapay zekânın veri temelli entegrasyonu ile birlikte önemli ölçüde dönüşüm geçirmiştir. Bu doğrultuda yapay zekâ tabanlı teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Özellikle makine öğrenmesi ve ileri analitik algoritmalar, geçmiş veriler ile gerçek zamanlı operasyonel verileri birlikte analiz ederek talep tahminlerinin doğruluk düzeyini artırmaktadır. Bu tahminler fiyatlandırma süreçlerinde anlık talep değişimlerine uyum sağlayabilen dinamik fiyat ayarlamalarına dönüştürülmektedir. Bunun yanı sıra yapay zekâ, farklı talep ve kapasite senaryolarının eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayarak, fiyatlandırma ve kapasite planlama kararlarının daha etkin biçimde alınmasını desteklemektedir. Bu sayede havayolu işletmeleri, değişen pazar koşullarına daha hızlı ve esnek biçimde uyum sağlayabilmekte, karar alma süreçlerinin doğruluğunu artırarak rekabet avantajı elde edebilmektedir (Manalu vd., 2024).

Yapay zekâ destekli bu uygulamalar, talep tahminleme ve dinamik fiyatlandırma süreçlerinin daha etkin ve esnek biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede havayolu işletmelerinin gelir yönetimi performansı gelişirken hizmet kalitesi artırılmakta ve yolcu sadakati güçlenmektedir. Ayrıca yolcuların tercih ve davranışlarına uygun seçenekler sunularak hizmetlerin daha kişiselleştirilmiş hâle gelmesi desteklenmekte ve gelir yönetimi kararlarının daha etkin biçimde alınmasına katkı sağlanmaktadır.

Yolcu deneyimi ve hizmet yönetimi

Havacılık sektöründe yapay zekâ temelli dijital dönüşümün en belirgin şekilde gözlemlendiği alanlardan biri yolcu deneyimi ve hizmet yönetimidir. Yapay zekâ teknolojilerinin bu alandaki kullanımı, yolculara sunulan hizmetlerin niteliğini dönüştürürken hizmet süreçlerinde de önemli yapısal değişimler yaratmaktadır. Check-in işlemlerinden bagaj takibine, yüz tanıma sistemlerinden otomatik geçiş uygulamalarına kadar havalimanı operasyonlarının birçok aşamasında kullanılan yapay zekâ, yolcuların havalimanında geçirdiği süreyi azaltmakta ve hizmet süreçlerinin daha etkin yönetilmesine katkı sunmaktadır (Şahin, 2024). Özellikle yapay zekâ destekli büyük veri analitiği, mobil

uygulamalar ve otomatik yönlendirme sistemleri sayesinde havalimanları, yolcu taleplerine daha hızlı yanıt verebilen bir yapıya kavuşmuş; yön bulma, bilgiye erişim ve zaman yönetimi gibi temel hizmet süreçlerindeki aksaklıklar önemli ölçüde azaltılmıştır (Cam ve Durmaz, 2018).

Yapay zekâ temelli dijital uygulamalar, kişiselleştirilmiş hizmet sunumu ile yolcu deneyimini güçlendiren temel dönüşüm alanlarından biri olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca havayolu işletmeleri ile yolcular arasındaki iletişim, veri temelli sistemlerin entegrasyonu sayesinde daha bütünleşik ve kullanıcı odaklı bir yapıya ulaşmıştır. Bu sayede yolculuk geçmişi ve bireysel tercihlere dayalı olarak sunulan kişiselleştirilmiş öneriler, seyahat deneyiminin daha akıcı ve kullanıcı dostu hâle gelmesini sağlamaktadır (Soyer ve Duman, 2024). Nitekim ilgili araştırmalar, yapay zekâ destekli hizmet kalitesinin yolcu tutumları, algılanan değer, memnuniyet düzeyi ve dijital pazarlama davranışları üzerinde anlamlı etkiler yarattığını göstermektedir (Çakır ve Nacar, 2024). Bu yönüyle yapay zekâ, yalnızca operasyonel süreçleri destekleyen bir teknoloji değil, aynı zamanda yolcu deneyiminin tasarlanması ve geliştirilmesinde stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Yapay zekânın sağladığı bu katkılara rağmen, hizmet süreçlerinde dijitalleşmenin yoğunlaşması ve insan etkileşiminin azalması bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle kabin içi hizmetlerde yüz yüze iletişimin yerini teknolojik arayüzlerin alması, yolcularda güven eksikliği ve yabancılaşma duygularını tetikleyebilmektedir. Rjsé vd. (2023) göre AI Augmented Services (YZ Destekli Geliştirilmiş Hizmetler) yaklaşımı, yapay zekâ destekli hizmetlerin yalnızca teknolojik verimlilik ekseninde değil, aynı zamanda duygusal değer üretimi ve insan merkezli temas anlayışıyla bütünleştirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Bu yaklaşım, ileri teknolojiyi duygusal zekâ unsurlarıyla bir araya getirerek yolcu memnuniyetini ve hizmet deneyimini geliştirmeyi amaçlayan bir bakış açısını içermektedir.

Yolcu deneyiminde gerçekleşen bu dönüşüm, hizmet süreçlerinin daha hızlı, kişiselleştirilmiş ve kullanıcı odaklı bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, sürdürülebilir hizmet kalitesinin yalnızca teknolojik kapasitenin artırılmasıyla değil, hizmet tasarımında insan odaklı ve duygusal boyutların birlikte ele alınmasıyla mümkün olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda yolcu memnuniyetinin yalnızca işlem kolaylığı üzerinden değil; güven, aidiyet ve empati gibi unsurları da kapsayan bütüncül bir deneyim çerçevesinde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ, operasyonel süreçleri destekleyen bir teknoloji olmanın ötesinde, yolcu deneyimini insan merkezli bir yaklaşımla yeniden şekillendiren önemli bir rol üstlenmektedir.

Bakım ve onarım süreçlerinin yönetimi

Bakım ve onarım süreçleri, havacılık sektöründe güvenlik ve operasyonel verimliliği doğrudan etkileyen temel alanlardan biridir. Uçakların güvenli, kesintisiz ve maliyet etkin biçimde hizmette kalabilmesi, bakım faaliyetlerinin yüksek hacimli ve çok boyutlu veri kümeleriyle entegre şekilde yürütülmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda uçuş saatleri, uçuş sayıları, arıza bildirimleri, ekipman envanteri ve periyodik bakım planları gibi operasyonel verilerin sistematik biçimde işlenmesi, bakım süreçlerinin daha etkin planlanmasına olanak tanımaktadır (Karagöz, 2024). Yapay zekâ destekli dijitalleşme uygulamalarının bu süreçlere entegrasyonu; bakım faaliyetlerinin doğru zamanlamayla planlanmasını, teknik ekip hazırlıklarının optimize edilmesini ve yedek parça tedarik süreçlerinin önceden yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle sensör verileri ve kestirimci bakım algoritmaları aracılığıyla potansiyel arızaların önceden tespit edilmesi, operasyonel sürekliliğin sağlanması ve kaynak verimliliğinin artırılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Pereira vd., 2022).

Yapay zekâ uygulamalarının bakım süreçlerinde katkı sağladığı bir diğer alan proaktif ve öngörücü bakım sistemlerinin geliştirilmesidir. Yapay zekânın karmaşık veri kümeleri üzerindeki örüntü tanıma kapasitesi; özellik seçimi ve veri temizleme gibi ön işleme teknikleriyle desteklenen hibrit modellerin oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Bu çerçevede çok katmanlı algılayıcılar (MLP), destek vektör regresyonu (SVR) ve genetik algoritmalar gibi yöntemlerle yüksek doğrulukta arıza tahminleri gerçekleştirilebilmekte ve olası arızalar meydana gelmeden önce tespit edilebilmektedir (Karagöz, 2024). Arızaların önceden öngörülebilmesi, bakım faaliyetlerinin planlanmasını kolaylaştırmakta ve gerçek zamanlı karar destek sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Bunun yanında makine öğrenmesi teknikleri, uçak sistemleri arasındaki karmaşık ilişkileri analiz ederek daha önce tanımlanmamış arıza kombinasyonlarının belirlenmesine katkı sunmaktadır. Sensör verileri ve geçmiş bakım kayıtlarından elde edilen büyük veri setlerinin analiz edilmesi, bu sistemlerin arızaları meydana gelmeden önce öngörebilmesine olanak tanımaktadır. Böylece önleyici bakım uygulamaları uçuş emniyetini ve operasyonel sürekliliği güçlendirirken, bakım faaliyetlerinin daha etkin planlanmasını mümkün kılmaktadır (Şahin, 2024). Bu durum, gereksiz bakım işlemlerinin azaltılmasına, kaynak kullanımının optimize edilmesine ve bakım maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Salvador vd., 2022).

Yapay zekâ destekli bakım ve onarım uygulamaları, bakım faaliyetlerinin daha öngörülebilir, planlı ve proaktif biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Sensör verileri, büyük veri analitiği ve kestirimci bakım algoritmalarının bütünleşik kullanımı sayesinde bakım kararlarının doğruluğu artmakta, operasyonel güvenilirlik güçlenmekte ve uçakların hizmet sürekliliği daha etkin biçimde yönetilebilmektedir. Bu yönüyle yapay zekâ, bakım ve onarım süreçlerinde yalnızca teknik bir destek aracı değil, emniyet, operasyonel güvenilirlik ve bakım yönetiminin etkinliğini artıran kilit bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Hava trafik yönetimi

Günümüzde hava trafik yönetimi (Air Traffic Management – ATM), artan hava trafiği hacmi ve kullanılan sistemlerin giderek karmaşılaşan yapısı nedeniyle önemli operasyonel zorluklarla karşı karşıyadır. Bu bağlamda yapay zekâ tabanlı teknolojiler, ATM süreçlerinde hem operasyonel verimliliğin hem de uçuş emniyetinin artırılması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (Tafur vd., 2025). EUROCONTROL'e (n.d.) göre yapay zekâ, hava trafiğinin çevresel etkilerinin azaltılması ve trafik hacmindeki değişimlere bağlı olarak ağ kapasitesinin daha esnek ve etkin biçimde yönetilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Bu doğrultuda YZ ve makine öğrenmesi tabanlı uygulamalar, hava trafik akışının daha etkin biçimde yönetilmesine ve yoğunluk kaynaklı gecikmelerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Gecikme tahmini ve dinamik hız yönetiminin birlikte kullanılması, özellikle terminal hava sahasındaki beklemlerin daha etkin yönetilmesine olanak sağlayarak yakıt tüketiminin ve buna bağlı karbon emisyonlarının azaltılmasını desteklemektedir (Lim vd., 2022). ATM süreçlerinde makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli yapay zekâ modelleri (ör. LSTM ve RNN); uçak izleme, çakışma tespiti, güzergâh optimizasyonu ve risk tahmini gibi karmaşık görevlerde etkin biçimde kullanılmaktadır. Özellikle RNN tabanlı modeller, uçakların varış zamanlarını önceden tahmin ederek havalimanı kapasitesi ve kaynak planlamasının daha isabetli yapılmasına katkı sunmaktadır. Bu teknolojiler, rota tahmini, kapasite planlaması ve kaynak kullanımının optimize edilmesi yoluyla hava trafik yönetiminin performansını ve operasyonel verimliliği artırırken uçuş emniyetini de güçlendirmektedir (Tafur vd., 2025).

Yapay zekâ teknolojilerinin ATM sistemlerindeki başarısı yalnızca algoritmik doğrulukla sınırlı değildir; aynı zamanda kullanıcı güveni, sistem şeffaflığı ve uygun düzenleyici çerçevelerle doğrudan ilişkilidir. Emniyetin kritik öneme sahip olduğu havacılık alanında, Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yaklaşımları, sistemlerin aldığı kararların nasıl ve hangi gerekçelere dayandığını anlaşılır kılarak kullanıcı güvenliğini artırmaktadır (Kabashkin vd., 2023). Örneğin bir uçuş rotasının neden değiştirildiği, bir trafik yönetim önerisinin hangi risk analizlerine dayandığı ya da kapasite planlama kararlarının hangi veri setleri üzerinden üretildiği gibi sorulara şeffaf yanıtlar sunulması büyük önem taşımaktadır. EUROCONTROL (n.d.), yapay zekâ tabanlı uygulamaların hâlihazırda MUAC operasyonları ile Network Manager görev ve işlevlerini desteklediğini, ayrıca yeni dijital hizmetlerin geliştirilmesine ve ATM performansının artırılmasına katkı sağladığını belirtmektedir. Yapay zekânın daha doğru tahminler ve gelişmiş karar destek araçları sağlayarak hava sahası ve pistler gibi sınırlı kaynakların daha etkin kullanılmasına katkıda bulunduğu da vurgulanmaktadır.

Yapay zekâ teknolojilerinin ATM sistemlerine entegrasyonu, hava trafik yönetiminde veri temelli karar verme kapasitesini güçlendirerek operasyonların daha güvenli, öngörülebilir ve esnek biçimde yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle gelişmiş tahmin modelleri ve karar destek sistemleri, hava sahası kapasitesinin daha etkin planlanmasını ve operasyonel kaynakların daha verimli kullanılmasını desteklemektedir. Bu yönüyle yapay zekâ, artan hava trafiğinin yönetiminde yalnızca operasyonel süreçleri destekleyen bir teknoloji değil, geleceğin hava trafik yönetim sistemlerinin geliştirilmesinde stratejik bir dönüşüm unsuru olarak öne çıkmaktadır.

Havalimanlarında enerji yönetimi

Günümüzde havalimanları, enerji yönetimi, operasyonel verimlilik ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu süreçte yapay zekâ destekli enerji yönetimi uygulamaları; enerji tüketiminin gerçek zamanlı izlenmesi, talep tahminine dayalı yük optimizasyonu ve kaynak kullanımının daha verimli hâle getirilmesi gibi alanlarda önemli katkılar sunmaktadır. Yapay zekâ destekli tahmin modelleri, enerji ve kaynak planlamasındaki operasyonel doğruluğu artırmakta, terminal manevra alanlarında operasyonel verimliliği geliştirmekte ve kısa vadeli yolcu trafiği tahminleri aracılığıyla stratejik kaynak yönetimini kolaylaştırmaktadır (Suh ve Ryerson, 2019; Wang vd., 2018; Bao vd., 2012; Dantas vd., 2017). Ayrıca dijital ikiz teknolojileri, veri analitiği tabanlı operasyon sistemleri ve biyoyakıt entegrasyonuna yönelik yapay zekâ uygulamaları; enerji tüketiminin optimize edilmesini, kaynak verimliliğinin artırılmasını ve sürdürülebilirlik performansının iyileştirilmesini desteklemektedir. Bu uygulamalar, enerji kullanımının talep

yoğunluğuna göre dengelenmesini sağlarken operasyonel planlama süreçlerinin daha etkin yürütülmesini de mümkün kılmaktadır (Olawade vd., 2024; Ceken ve Tuncal, 2026).

Yapay zekâ destekli enerji yönetimi uygulamalarının havalimanı operasyonlarına yansımaları, Zürich ve Schiphol gibi uluslararası havalimanlarında yürütülen enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik projelerinde de gözlemlenmektedir (Flughafen Zürich AG, 2025; Royal Schiphol Group, 2024). Bu uygulamalar, havalimanı operasyonlarının farklı bileşenlerinde enerji kullanımının daha etkin yönetilmesine olanak tanımaktadır. Yer hizmetleri süreçlerinde kullanılan yapay zekâ tabanlı sistemler, apron araçlarının koordinasyonunu optimize ederek gereksiz enerji tüketimini azaltmakta ve çevrim sürelerini iyileştirmektedir. Benzer şekilde terminal binalarında kullanılan akıllı iklimlendirme ve aydınlatma sistemleri enerji tasarrufuna katkı sağlarken, makine öğrenmesi algoritmaları enerji kullanımındaki verimsizliklerin tespit edilmesini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin yönetilmesini mümkün kılmaktadır (Olawade vd., 2024). Ayrıca Bulanık Mantık Kontrolü (FLC) ve Model Öngörülü Kontrol (MPC) gibi gelişmiş yöntemler enerji verimliliğini artırırken iç mekân konforunun iyileştirilmesine de katkı sunmaktadır (Ceken ve Tuncal, 2026). Bunun yanında SESAR ASTAIR Projesi kapsamında geliştirilen yapay zekâ destekli yer operasyon sistemleri; apron trafiğinin optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir yer hizmetleri yönetiminin desteklenmesine yönelik bütünsel uygulamalar sunmaktadır (SESAR Joint Undertaking, 2023; Garcia vd., 2025).

Yapay zekâ destekli enerji yönetimi uygulamaları, havalimanlarında enerji tüketiminin daha etkin yönetilmesini ve operasyonel süreçlerin veri temelli olarak optimize edilmesini sağlamaktadır. Bu doğrultuda yapay zekâ, enerji yönetimini yalnızca teknik bir işletme fonksiyonu olmaktan çıkararak havalimanlarının uzun dönemli operasyonel planlamasının stratejik bir bileşeni hâline getirmektedir. Nitekim güncel çalışmalar, yapay zekâ uygulamalarının emisyon azaltımı, bakım optimizasyonu ve sürdürülebilir havalimanı yönetimi açısından giderek daha merkezi bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır (Tafur vd., 2025). Bu dönüşüm, ICAO tarafından geliştirilen CORSIA mekanizması ile 2050 Net Sıfır Emisyon hedefini kapsayan Uzun Vadeli Hedef (LTAG) girişimi gibi küresel sürdürülebilirlik politikalarıyla da uyum göstermektedir (ICAO, 2022a; 2022b).

Uçuş güvenliği ve acil durum yönetimi

Havacılık sektöründe teknolojik yenilik, tarihsel süreç boyunca güvenlik seviyesinin geliştirilmesinde ve korunmasında belirleyici bir rol üstlenmiştir (ICAO, 2023b). Günümüzde bu süreç, yapay zekâ, makine öğrenimi, öngörücü bakım, artırılmış gerçeklik ve yer-gökyüzü iletişim sistemleri gibi ileri teknolojilerle yeni bir boyut kazanmıştır. Bu teknolojilerin emniyet odaklı ve kontrollü biçimde uçuşlara entegre edilmesi, güçlü bir düzenleyici ve operasyonel çerçeveyi gerekli kılmaktadır. Havacılıkta bu çerçevenin oluşturulması ve uygulanmasında EASA ve EUROCONTROL gibi kurumlar, yapay zekâ tabanlı sistemlerin hava sahası güvenliğini somut biçimde artıracak şekilde hayata geçirilmesine yönelik rehberlik ve denetim işlevi üstlenmektedir (EUROCONTROL, n.d.).

Yapay zekâ uygulamalarının uçuş güvenliği ve acil durum yönetimine katkıları, yalnızca teknik sistemlerin performansının artırılmasıyla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda havayolu işletmelerinin karar alma, risk yönetimi ve operasyonel koordinasyon süreçlerini de dönüştürmektedir. Bu uygulamalar, karar destek sistemleri aracılığıyla stratejik planlama ve risk yönetimi kapasitesini güçlendirmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli platformlar, bağlama özgü öneriler geliştirerek operatörleri olası senaryolara karşı hazırlıklı hâle getirmekte; potansiyel risklerin erken tespiti, anormalliklerin belirlenmesi ve kriz durumlarına hızlı müdahale kapasitesi sayesinde uçuş güvenliğini artırmaktadır (Zaoui vd., 2024). Bu bağlamda yapay zekâ, yalnızca risk analizi aracı değil; aynı zamanda acil durum yönetiminde proaktif karar desteği sunan bir güvenlik bileşeni olarak konumlanmaktadır.

Bunun yanı sıra yapay zekâ modelleri, uçak performansının tahmin edilmesi ve optimize edilmesinde de kullanılmaktadır. Aerodinamik yapı, yanma sistemleri ve yapısal bütünlük gibi alanlarda geliştirilen veri temelli modeller hem operasyonel performansı hem de genel uçuş emniyetini desteklemektedir (Tafur vd., 2025). Ancak bu teknik kazanımların emniyet kültürü üzerindeki etkileri ayrı bir değerlendirme gerektirmektedir. Kirwan'a (2024) göre yapay zekâ, bir yandan operasyonel belirsizlikleri azaltarak emniyet kültürünü güçlendirme potansiyeline sahipken; diğer yandan sistem tasarımı ve uygulama biçimine bağlı olarak yeni risk alanları da oluşturabilmektedir. İnsan-yapay zekâ etkileşiminin güvenli biçimde yapılandırılması, bu sistemlerin şeffaf, açıklanabilir ve kullanıcı merkezli tasarlanmasına bağlıdır. Dolayısıyla yapay zekâ uygulamalarının etkileri yalnızca operasyonel ve teknik kazanımlar üzerinden değil, daha geniş bir sürdürülebilirlik perspektifi içerisinde de değerlendirilmelidir.

Bu gelişmeler doğrultusunda yapay zekâ destekli güvenlik uygulamaları, uçuş güvenliği ve acil durum yönetiminde veri temelli, proaktif ve öngörülebilir bir yönetim anlayışının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin etkinliği yalnızca algoritmik doğruluklarına değil, aynı zamanda uygun düzenleyici çerçevelerin oluşturulmasına, açıklanabilir yapay zekâ ilkelerinin benimsenmesine ve insan-yapay zekâ etkileşiminin güvenli biçimde tasarlanmasına bağlıdır. Bu yönüyle yapay zekâ, operasyonel güvenliği destekleyen teknik bir araç olmanın ötesinde, geleceğin emniyet yönetim sistemlerinin geliştirilmesinde stratejik bir dönüşüm unsuru olarak değerlendirilmektedir.

Çevresel etkilerin yönetimi

Havacılık sektöründe çevresel sürdürülebilirlik, çevresel kaygılar ile ekonomik ve operasyonel gereklilikler arasında yaşanan gerilimler nedeniyle kademeli ve zorlu bir dönüşüm süreci sonunda bugünkü önemine ulaşmıştır. 21. yüzyıl öncesinde çevresel sürdürülebilirlik doğrudan bir politika alanı olarak ele alınmamış; buna karşın maliyet odaklı yaklaşımlar çerçevesinde geliştirilen teknolojik iyileştirmeler, dolaylı olarak karbon salınımlarının azaltılmasına katkı sağlamıştır. Aynı dönemde yakıt verimliliğine yönelik ilerlemelerin hem işletme maliyetlerinin düşürülmesine hem de çevresel etkilerin sınırlandırılmasına hizmet ettiği görülmüştür.

Bununla birlikte, özellikle 1970'li yıllardan itibaren, maliyet temelli verimlilik kazanımlarına dayalı bu ilerleme ivmesinin yapısal ve teknolojik sınırlamalar nedeniyle belirgin biçimde yavaşladığı görülmektedir. Bu yavaşlamada; motor ve aerodinamik tasarımlarda yenilik hızının azalması, gövde malzemelerindeki sınırlı gelişim, uzun ürün geliştirme ve filo yenileme döngüleri ile radikal teknolojilerin yüksek yatırım maliyetleri belirleyici olmuştur. Artan gelir düzeyiyle birlikte yolcuların hava ulaşımının sunduğu hız ve konforu daha fazla önemsemeleri, yakıt verimliliğine dayalı dönüşüm baskısını görece zayıflatmıştır. Buna karşın, uçak gürültüsünün insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerindeki etkilerine ilişkin bilimsel kanıtların güçlenmesi ve bu alanda geliştirilen düzenleyici çerçeveler sayesinde gürültü kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik önemli ilerlemeler sağlanmıştır (Basner vd., 2017). Emisyonların azaltılmasına yönelik kapsamlı dönüşüm çabaları ise özellikle son yıllarda iklim değişikliği gündeminin etkisiyle daha belirgin hâle gelmiştir (Lee ve Mo, 2011).

Günümüzde ise havacılığın çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik düzenleyici çerçevelerin belirgin biçimde güçlendiği görülmektedir. Özellikle Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından geliştirilen Karbon Dengeleme ve Azaltım Programı (CORSIA) ile 2050 Net Sıfır Emisyon hedefini içeren Uzun Vadeli Hedef (Long-Term Aspirational Goal - LTAG), küresel ölçekte havacılık sektörünün çevresel sorumluluklarını tanımlayan temel politika araçları arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (EU ETS) ve benzeri bölgesel düzenlemeler, havayolu işletmelerini emisyonlarını ölçmeye, raporlamaya ve azaltmaya yönelik daha sistematik ve sayısallaştırılmış yaklaşımlar geliştirmeye zorlamaktadır. Söz konusu düzenleyici baskı, çevresel performansın yalnızca gönüllü uygulamalarla değil, ölçülebilir, izlenebilir ve doğrulanabilir mekanizmalarla yönetilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu mekanizmalardan biri olarak öne çıkan yapay zekâ uygulamaları, artan düzenleyici baskılar ile operasyonel uygulamalar arasında köprü kuran temel bir araç işlevi görmektedir. Yapay zekâ tabanlı çözümler sayesinde havayolu işletmeleri, yalnızca maliyet ve operasyonel verimlilik odaklı değil; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği gözetken daha dengeli ve veri temelli kararlar alabilmektedir (Wang vd., 2024). Kaynakların verimli kullanımı, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji optimizasyonuna yönelik veri temelli yaklaşımlar; yapay zekâ destekli enerji yönetimi, rota optimizasyonu ve filo planlaması uygulamaları aracılığıyla havayolu taşımacılığının çevresel etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Olawade vd., 2024). Havalimanları çevresindeki gürültü ve uçuş esnasındaki motor emisyonları gibi çevresel etkilerin değerlendirilmesi, veri ve hesaplama yoğun bir faaliyet olup, hesaplama kapasitesindeki gelişmeler ve yapay zekâ destekli analiz yöntemleri sayesinde son yıllarda önemli ölçüde evrim geçirmiştir (EASA, 2023).

Bu çerçevede yapay zekâ destekli karar destek sistemleri, çevresel etkilerin ölçülmesi ve izlenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Bu sistemler, sürdürülebilir havacılık yakıtları (SAF) ve hidrojen destekli çözümlerin etkinliğinin değerlendirilmesine, çevresel performansın operasyonel veriler üzerinden izlenmesine ve emisyon azaltım potansiyelinin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Nitekim Lufthansa Group, uçuş planlamasında yapay zekâ tabanlı optimizasyon algoritmaları kullanarak yakıt tüketimini ve buna bağlı karbon salınımı azaltmayı hedeflemekte; IATA'nın CO₂ Connect platformu ise gerçek hava yolu verilerine dayalı olarak uçuş başına CO₂ emisyonlarının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır (IATA, 2022; Lufthansa Group, 2023).

Buna karşın, sektörün mevcut iş modeli ve sürekli büyüme eğilimi, SAF ve hidrojen gibi alternatif çözümlere geçişi tek başına yeterince hızlandıramamaktadır. Alternatif yakıtların sınırlı bulunabilirliği ve yüksek maliyetleri de bu dönüşümü zorlaştıran önemli engeller arasındadır. Bu noktada, havacılık sektöründe emisyonların azaltılmasına yönelik tartışmalarda karbon vergisi “kırleten öder” ilkesine dayalı bir düzenleme aracı olarak önemli bir rol üstlenmektedir. Karbon vergisi, havayollarını uçuş başına ürettikleri emisyonlar oranında mali yükümlülük altına sokarak işletmeleri daha düşük karbonlu çözümler geliştirmeye ve özellikle SAF kullanımına yönlendirmektedir. Ayrıca, artan bilet fiyatları yoluyla yolcu talebini dolaylı olarak sınırlamakta ve sektörün sürekli büyüme eğilimini dengelemektedir. Böylece karbon vergisi, hem alternatif yakıtların yaygınlaşmasını teşvik eden hem de emisyon artışını kontrol altına alan çift yönlü bir etki yaratmaktadır (Gössling ve Humpe, 2023).

Sonuç olarak, geçmişte ağırlıklı olarak maliyet ve operasyonel verimlilik ekseninde şekillenen havacılık sektörü, günümüzde çevresel performansın iyileştirilmesini merkeze alan yeni bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu süreçte yapay zekâ, veri temelli analiz ve karar destek kapasitesiyle yakıt optimizasyonu, rota planlaması, emisyon izleme ve sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımına yönelik uygulamaları destekleyen stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, mevcut iş modelleri, alternatif yakıtların sınırlı erişilebilirliği ve yüksek maliyetler gibi yapısal kısıtlar bu dönüşümün hızını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ tabanlı çözümlerin karbon vergisi ve benzeri düzenleyici politika araçlarıyla birlikte ele alınması, havacılık sektörünün uzun dönemli çevresel dönüşümünün desteklenmesi açısından önem taşımaktadır.

Tüm bu gelişmeler birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ uygulamalarının havacılık sektöründe çevresel etkilerin yönetiminde giderek daha stratejik bir rol üstlendiği görülmektedir. Bununla birlikte, bu potansiyelin tam olarak hayata geçirilebilmesi, teknolojik yeniliklerin uygun düzenleyici politikalar, sürdürülebilir yakıt stratejileri ve uluslararası iş birliği mekanizmalarıyla birlikte ele alınmasına bağlıdır.

Tartışma

Bu çalışma, havacılık sektöründe yapay zekâ uygulamalarını sürdürülebilirlik perspektifinden tematik olarak değerlendirerek mevcut literatürü bütüncül bir çerçevede sentezlemiştir. Bulgular, incelenen literatür doğrultusunda yapay zekâ uygulamalarının operasyonel süreçlerin dijitalleşmesini desteklemenin yanı sıra çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedeflerine de katkı sağlayabildiğini göstermektedir. Uçuş optimizasyonu, hava trafik yönetimi, kestirimci bakım, enerji yönetimi ve uçuş güvenliği gibi farklı uygulama alanlarında yapay zekâ, kaynak kullanımının iyileştirilmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve karar verme süreçlerinin desteklenmesi yoluyla sürdürülebilir havacılığa önemli katkılar sunmaktadır.

Bu bulgular, önceki derleme çalışmalarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Zaoui vd. (2024), yapay zekânın havacılıkta en yaygın kullanım alanlarının operasyon yönetimi, bakım, güvenlik ve müşteri hizmetleri olduğunu belirtirken, Tafur vd. (2025) özellikle hava trafik yönetimi ve operasyonel optimizasyon uygulamalarının ağ verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılmasındaki rolünü vurgulamaktadır. Benzer şekilde Geske vd. (2024), mevcut literatürün ağırlıklı olarak operasyonel süreçler, karar destek sistemleri, talep tahmini ve yolcu hizmetleri üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Demir vd. (2024) ise yapay zekâ araştırmalarının özellikle uçuş güvenliği, kestirimci bakım, hava trafik yönetimi, risk analizi ve anomali tespiti gibi emniyet odaklı alanlarda geliştiğini ortaya koymaktadır.

Ancak, önceki derleme çalışmaları yapay zekâ uygulamalarını ağırlıklı olarak operasyonel işlevler, teknolojik yöntemler veya belirli uygulama alanları temelinde sınıflandırmaktadır. Buna karşılık bu çalışma, söz konusu uygulamaları yalnızca operasyonel alanlar veya kullanılan yapay zekâ teknikleri açısından ele almakla sınırlı kalmayarak, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutları altında yeniden değerlendirmekte ve literatüre farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Bulgular ayrıca, yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerinin uygulama alanına bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Uçuş rotalarının optimize edilmesi, hava trafik akışının iyileştirilmesi ve enerji yönetimi uygulamaları çevresel sürdürülebilirliği doğrudan desteklerken; kestirimci bakım, operasyon planlama ve kaynak optimizasyonu ekonomik sürdürülebilirliği güçlendirmektedir. Buna karşılık uçuş güvenliği, acil durum yönetimi, eğitim sistemleri ve yolcu deneyimine yönelik uygulamalar sosyal sürdürülebilirlik açısından daha belirgin katkılar sunmaktadır (Tafur vd., 2025; EASA, 2023; Demir vd., 2024).

Öte yandan, literatür yapay zekâ kullanımının bazı önemli yönetim ve etik sorunları da beraberinde getirdiğini ortaya koymaktadır. Algoritmik önyargı, açıklanabilirlik, veri gizliliği, siber güvenlik, hesap verebilirlik ve insan denetiminin korunması gerekliliği hem akademik çalışmalarda hem de düzenleyici

kurumların raporlarında öne çıkan konular arasında yer almaktadır. EASA (2023) ile Kirwan (2024), emniyet kritik havacılık operasyonlarında kullanılan yapay zekâ sistemlerinin şeffaf, güvenilir ve insan denetimini esas alan yönetim mekanizmaları çerçevesinde geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde Enholm vd. (2022), yapay zekâ teknolojilerinin kurumsal değer üretebilmesi için yalnızca teknik kapasitenin değil, uygun organizasyonel yapıların ve yönetim mekanizmalarının da gerekli olduğunu belirtmektedir.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda, bu çalışmanın temel katkısı, yapay zekâ uygulamalarını operasyonel süreçler veya teknolojik yöntemler temelinde değil, sürdürülebilirlik ekseninde bütüncül bir yaklaşımla yeniden değerlendirmesidir. Bu yaklaşım, literatürde çoğunlukla birbirinden bağımsız ele alınan yapay zekâ uygulamalarının çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedefleriyle ilişkisini ortak bir analitik çerçevede değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.

Sonuç ve öneriler

Bu çalışmanın bulguları, mevcut literatür doğrultusunda yapay zekâ uygulamalarının havacılık sektöründe sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarına farklı mekanizmalar aracılığıyla katkı sağlayabildiğini göstermektedir. Buna bağlı olarak gelecekte farklı havayolu işletmeleri ile havalimanlarının yapay zekâ uygulamalarını karşılaştıran çalışmaların yürütülmesi, farklı ülkelerdeki düzenleyici çerçevelerin yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması ve sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca yapay zekâ olgunluğu ile sürdürülebilirlik performansı arasındaki ilişkinin nicel yöntemlerle test edilmesi ve çalışanlar, yöneticiler ile yolcular gibi farklı paydaş gruplarının yapay zekâ uygulamalarına yönelik algılarının incelenmesi, bu alandaki kuramsal ve uygulamalı bilgi birikiminin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Araştırma bulguları doğrultusunda havacılık sektöründeki farklı paydaşlara yönelik aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

Havayolu işletmeleri için:

- Yapay zekâ uygulamaları yalnızca operasyonel verimliliği artıran teknolojik araçlar olarak değil, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyen kurumsal sürdürülebilirlik stratejisinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmelidir.
- Uçuş operasyonları, bakım yönetimi, yakıt optimizasyonu ve yolcu hizmetlerinde kullanılan yapay zekâ uygulamalarının bütünlük karar destek sistemleri olarak kullanılması, operasyonel verimliliğin ve sürdürülebilirlik performansının birlikte geliştirilmesine katkı sağlayabilir.
- Veri entegrasyonu, dijital altyapı ve yapay zekâ destekli kestirimci bakım uygulamalarına yapılacak yatırımlar, karar doğruluğunu artırırken operasyonel süreklilik ve filo güvenilirliğinin güçlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Havalimanı işletmeleri için:

- Terminal yönetimi, enerji yönetimi, apron operasyonları ve yolcu akış yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının bütünlük biçimde kullanılması, operasyonel verimliliğin ve kaynak kullanım etkinliğinin artırılmasını destekleyebilir.
- Gerçek zamanlı yapay zekâ tabanlı karar destek ve optimizasyon sistemleri kullanılarak kapasite planlaması, kaynak tahsisi ve operasyonel koordinasyon iyileştirilebilir.
- Enerji tüketimi, karbon emisyonları ve diğer sürdürülebilirlik göstergelerinin yapay zekâ destekli sistemlerle izlenmesi, çevresel performansın sürekli geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Düzenleyici kurumlar ve politika yapıları için:

- Yapay zekâ uygulamalarının güvenli ve sorumlu biçimde geliştirilmesini desteklemek amacıyla etik ilkeler, açıklanabilir yapay zekâ, veri güvenliği ve şeffaflık esaslarını içeren ortak düzenleyici standartlar geliştirilebilir.
- Üniversiteler, kamu kurumları ve sektör temsilcileri arasında veri paylaşımını, ortak araştırmaları ve teknoloji transferini destekleyen iş birlikleri teşvik edilebilir.
- Yapay zekâ teknolojilerinin güvenli ve etkin kullanımını destekleyecek eğitim programları ile sektörel kapasite geliştirme faaliyetlerine öncelik verilebilir.

Çalışmanın sonuçları yorumlanırken bazı sınırlılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Tematik analiz, belirlenen seçim ölçütleri doğrultusunda analize dâhil edilen 25 kaynağa dayanmaktadır. Bu kaynakların 16'sı (%64) 2023–2025 döneminde yayımlanmıştır. Yapay zekâ uygulamalarının havacılık alanında hızla gelişmesi nedeniyle yeni teknolojik ve düzenleyici gelişmeler, mevcut değerlendirmelerin zaman içerisinde güncellenmesini gerektirebilir. Ayrıca çalışma, belirlenen seçim ölçütlerini karşılayan ve erişilebilen yayınlarla sınırlandırılmıştır. Bu nedenle literatürde yer alan tüm çalışmalar değerlendirmeye dâhil edilememiş olabilir. Bunun yanında, olumlu sonuçlar bildiren çalışmaların yayımlanma olasılığının daha yüksek olması (yayın yanlılığı) ve uluslararası kuruluşların politika ve teknik dokümanlarında yapay zekâ uygulamalarının olumlu yönlerinin daha fazla vurgulanması, bulguların yorumlanmasını etkileyebilir. İncelenen kaynakların yöntemsel yaklaşımları, veri kaynakları ve kanıt düzeyleri de farklılık göstermektedir; bu nedenle bulgular ağırlıklı olarak genel eğilimleri yansıtmaktadır. Son olarak, çalışma yapay zekâ sistemlerinin teknik mimarilerini, algoritmik performans karşılaştırmalarını ve firma düzeyindeki performans analizlerini kapsam dışında bırakarak yapay zekâ uygulamalarının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerine odaklanmıştır.

Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojileri havacılık sektöründe sürdürülebilir dönüşümü destekleyen önemli araçlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu potansiyelin uzun vadeli değer yaratabilmesi, yapay zekâ uygulamalarının yalnızca operasyonel verimliliği artıran teknolojiler olarak değil, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleşik bir yaklaşımla geliştirilmesine ve uygulanmasına bağlıdır.

Hakem Değerlendirmesi / Peer-review:

Dış bağımsız

Externally peer-reviewed

Çıkar Çatışması / Conflict of interests:

Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

The author has no conflict of interest to declare.

Finansal Destek / Grant Support:

Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

The author declared that this study has received no financial support.

Etik Beyan / Ethical Statement:

Bu çalışma, kamuya açık ikincil kaynaklara dayalı kavramsal bir derlemedir; insan/hayvan katılımcıdan veya kişisel veriden veri toplanmadığı için etik kurul izni gerektirmemektedir.

This study is a conceptual review based on publicly available secondary sources; therefore, ethics committee approval was not required, as no data were collected from human or animal participants or from personal data.

Üretken Yapay Zekâ Kullanım Beyanı / Declaration on the Use of Generative Artificial Intelligence:

Bu çalışmanın hazırlanması sürecinde üretken yapay zekâ (Generative AI) araçları kullanılmamıştır.

No generative artificial intelligence (Generative AI) tools were used in the preparation of this manuscript.

Veri Erişilebilirliği / Data Availability:

Bu çalışmada yeni bir veri seti üretilmemiştir; kullanılan kaynaklar kaynakçada sunulmuştur.

No new dataset was generated in this study; the sources used are provided in the reference list.

Kaynakça / References

- Bansal, P. (2005). Evolving sustainably: A longitudinal study of corporate sustainable development. *Strategic Management Journal*, 26(3), 197–218. <https://doi.org/10.1002/smj.441>
- Bao, Y., Xiong, T., & Hu, Z. (2012). Forecasting Air Passenger Traffic by Support Vector Machines with Ensemble Empirical Mode Decomposition and Slope-Based Method, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 12. <https://doi.org/10.1155/2012/431512>
- Basner, M., Clark, C., Hansell, A., Hileman, J. I., Janssen, S., Shepherd, K., Sparrow, V., & Loudon, J. (2017). Aviation noise impacts: State of the science. *Noise & Health*, 19(87), 41–50. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_104_16
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Çakır, N., & Nacar, R. (2024). Dijital pazarlama ve hizmet kalitesi için yapay zekâ kullanımı: havacılık sektöründe bir araştırma. *The International New Issues in Social Sciences*, 12(2), 159–186. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14545953>
- Cam, A. C., & Durmaz, V. (2018). Dijital havacılık: Güncel uygulamalarla gelecekteki yolcu deneyimleri. *Electronic Turkish Studies*, 13(26), 251–266. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.14163>
- Ceken, S., & Tuncal, A. (2026). Artificial intelligence for sustainable aviation: A review on operational implementations and future perspectives. *The Aeronautical Journal*, 130(1347), 1355–1400. <https://doi.org/10.1017/aer.2026.10138>
- Çankaya, D. (2020). Havacılıkta yaygınlaşan yapay zeka, API ve büyük veri temelli çözümler. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), 465–473. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.93>
- Dantas, T. M., Oliveira, F. L. C., & Repolho, H. M. V. (2017). Air transportation demand forecast through Bagging Holt Winters methods. *Journal of Air Transport Management*, 59, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.12.006>
- Demir, G., Moslem, S., & Duleba, S. (2024). Artificial intelligence in aviation safety: Systematic review and bibliometric analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17, 279. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00671-w>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.
- Enholm, I. M., Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Krogstie, J. (2022). Artificial intelligence and business value: A literature review. *Information Systems Frontiers*, 24(5), 1709–1734. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w>
- EUROCONTROL. (n.d.). *Artificial intelligence*. Retrieved from <https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence>
- European Union Aviation Safety Agency (EASA) (2023). *Artificial intelligence roadmap 2.0: Human-centric approach to AI in aviation*. Retrieved from <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20>
- Federal Aviation Administration (FAA). (2022). *Technical discipline: Artificial intelligence – machine learning*. https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/step/disciplines/artificial_intelligence
- Ficca, A., Marulo, F., & Sollo, A. (2023). An open thinking for a vision on sustainable green aviation. *Progress in Aerospace Sciences*, 141, 100928. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2023.100928>
- Flughafen Zürich AG. (2025). *Climate protection and energy*. Retrieved from <https://www.flughafen-zuerich.ch/en/company/responsibility/environmental-protection/climate?>
- Garcia, J., Vo, D.-B., Brock, A., Peyruqueou, V., Battut, A., Cousy, M., Čanádiová, V., Sharpanskykh, A., & Ermiş, G. (2025). Towards more automated airport ground operations including engine-off taxiing techniques within the Auto-Steer Taxi at AIRport (ASTAIR) project. *Engineering Proceedings*, 90(1), Article 15. <https://doi.org/10.3390/engproc2025090015>
- Geske, A. M., Herold, D. M., & Kummer, S. (2024). Artificial intelligence as a driver of efficiency in air passenger transport: A systematic literature review and future research avenues. *Journal of the Air Transport Research Society*, 3, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2024.100030>
- Gössling, S., & Upham, P. (2009). *Climate change and aviation: Issues, challenges and solutions*. Earthscan.

- Gössling, S., & Humpe, A. (2023). Net-zero aviation: Time for a new business model. *Journal of Air Transport Management*, 107, 102353. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102353>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022a). *CO₂ emissions reduction scenarios and options for a long-term global aspirational goal for international aviation*. Retrieved from <https://www.icao.int/Meetings/HLM-LTAG/Documents/HLM.LTAG.IP.06.en.pdf>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2022b). *CORSIA supporting document: CORSIA eligible fuels-life cycle assessment methodology*. Retrieved from https://www.icao.int/environmentalprotection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/CORSIA_Supporting_Document_CORSIA%20Eligible%20Fuels_LCA_Methodology_V5.pdf
- International Air Transport Association (IATA). (2022). *CO₂ Connect: A global standard for flight emissions calculation*. Retrieved from <https://www.iata.org/en/services/data/environment-sustainability/co2-connect/>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023a). *Environmental protection reports*. Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023b). *Safety management manual* (4th ed.). <https://elibrary.icao.int/reader/229751/&returnUrl%3DaHR0cHM6Ly9lbGlicmFyeS5pY2FvLmludC9wcm9kdWN0LzlyOTc1MQ%3D%3D?productType=ebook>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2025). *Artificial intelligence (AI) contribution to aviation* (Working Paper EX/220). https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp_489_en.pdf
- Kabashkin, I., Misnevs, B., & Zervina, O. (2023). Artificial intelligence in aviation: New professionals for new technologies. *Applied Sciences*, 13(21), 11660. <https://doi.org/10.3390/app132111660>
- Karagöz, O. (2024). Yapay zekanın hava araçlarında bakım ve arıza giderme sürecindeki etkisi. *The Journal of Academic Social Science*, 156(156), 353–371. <https://doi.org/10.29228/ASOS.77613>
- Kirwan, B. (2024). The impact of artificial intelligence on future aviation safety culture. *Future Transportation*, 4(2), 349–379. <https://doi.org/10.3390/futuretransp4020018>
- Lee, J., & Mo, J. (2011). Analysis of technological innovation and environmental performance improvement in aviation sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(9), 3777–3795. <https://doi.org/10.3390/ijerph8093777>
- Lim, Z. J., Alam, S., Dhief, I., & Schultz, M. (2022). Towards a greener Extended-Arrival Manager in air traffic control: A heuristic approach for dynamic speed control using machine-learned delay prediction model. *Journal of Air Transport Management*, 103, 102250. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102250>
- Lozano, R. (2015). A holistic perspective on corporate sustainability drivers. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 22(1), 32–44. <https://doi.org/10.1002/csr.1325>
- Lufthansa Group. (2023). *Operational efficiency*. Retrieved from <https://www.lufthansagroup.com/en/responsibility/climate-and-environment/operational-efficiency.html>
- Manalu, H. V., Bismantoko, D. H., Putri, O., & Mahendra, K. A. (2024). Revenue management strategies in airline industry: A literature review. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 26(1), 93–102. <https://doi.org/10.32734/jsti.v26i1.14363>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4), 12–14. <https://jmc.stanford.edu/articles/dartmouth/dartmouth.pdf>
- Olawade, D. B., Wada, O. Z., David-Olawade, A. C., Fapohunda, O., Ige, A. O., & Ling, J. (2024). Artificial intelligence potential for net zero sustainability: Current evidence and prospects. *Next Sustainability*, 4, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100041>
- Pereira, B. A., Lohmann, G., & Houghton, L. (2022). Technology trajectory in aviation: Innovations leading to value creation (2000–2019). *International Journal of Innovation Studies*, 6(3), 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2022.05.001>

- Phillips, R. L. (2021). Pricing and revenue optimization. *Stanford University Press*.
<https://doi.org/10.1515/9781503614260>
- Rjsé, V., Jylkäs, T., & Miettinen, S. (2023). AI Enabled Airline Cabin Services: AI Augmented Services for Emotional Values. *Service Design for High-Touch Solutions and Service Quality. Design Management Journal*, 18(1), 100–115. <https://doi.org/10.1111/dmj.12090>
- Royal Schiphol Group. (2024). *Annual Review 2024, Roadmap most sustainable airports*.
<https://www.schiphol.nl/en/sustainability/sustaining-your-world>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: A modern approach* (3rd ed.). Pearson Education.
- Sadou, A. M., & Njoya, E. T. (2023). Applications of artificial intelligence in the air transport industry: a bibliometric and systematic literature review. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 15, e2223. <https://doi.org/10.1590/jatm.v15.1312>
- Şahin, Y. (2024). Havacılık ve yapay zeka alanındaki çalışmaların bibliyometrik analizi. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11(110), 1637–1648. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13732160>
- Salvador, M., Yacout, S., & AboElHassan, A. (2022, January). Using big data and machine learning to improve aircraft reliability and safety. In *Proceedings of the 2022 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAMS51457.2022.9894015>
- SESAR Joint Undertaking. (2023). *ASTAIR: Autonomous taxiing and sustainable traffic flow in airports*. Retrieved from <https://www.sesarju.eu/projects/ASTAIR>
- Soyer, M., & Duman, A. (2024). Havalimanlarında yapay zekânın geleceği ile ilgili yolcu deneyimlerine yönelik nitel bir araştırma. *Scientific Journal of Space Management and Space Economy*, 4(1), 1–13. <https://journals.academicianstudies.com/SJSMSE/issue/view/36/71>
- Suh, D. Y., & Ryerson, M. S. (2019). Forecast to grow: Aviation demand forecasting in an era of demand uncertainty and optimism bias. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 400–416. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.016>
- Tafur, C. L., Camero, R. G., Rodríguez, D. A., Rincón, J. C. D., & Saenz, E. R. (2025). Applications of artificial intelligence in air operations: A systematic review. *Results in Engineering*, 25, 103742. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103742>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Wang, B., Ting, Z. J., & Zhao, M. (2024). Sustainable aviation fuels: Key opportunities and challenges in lowering carbon emissions for the aviation industry. *Carbon Capture Science & Technology*, 13, 100263. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2024.100263>
- Wang, Z., Liang, M., & Delahaye, D. (2018). A hybrid machine learning model for short-term estimated time of arrival prediction in terminal manoeuvring area. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.019>
- Whitby, B. (2009). *Artificial intelligence*. The Rosen Publishing Group, Inc.
- Yazgan, H. R., Candan, G., & Ataman, M. (2019). Talep tahmini ve dinamik fiyatlandırma ile havayolu bilet fiyatlarının belirlenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(2), 732–742. <https://doi.org/10.20491/isarder.2019.632>
- Yetkin, S., Abuhanieh, S., & Yigit, S. (2024). Investigation on the abilities of different artificial intelligence methods to predict the aerodynamic coefficients. *Expert Systems with Applications*, 237, 121324. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121324>
- Zaoui, A., Tchuente, D., Wamba, S. F., & Kamsu-Foguem, B. (2024). Impact of artificial intelligence on aeronautics: An industry-wide review. *Journal of Engineering and Technology Management*, 71, 101800. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2024.101800>